

STUDI ANALISIS SIMPANGAN PADA KONSTRUKSI DENGAN TITIK PUSAT MASSA BERADA DI LUAR BANGUNAN AKIBAT RESPONS SPEKTRUM BERDASARKAN SNI 03-1726-2012

Wiga Sapta Hidayah, Hidayat Mughni

Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta
Jl. Cempaka Putih Tengah III No.24, Cempaka Putih, DKI Jakarta 10510
dazzafa@gmail.com

Abstrak

Dalam perencanaan struktur gedung, bentuk bangunan memiliki pengaruh terhadap kemampuan bangunan menahan gaya lateral akibat gempa, salah satu indikasi yang menyatakan bangunan tersebut aman terhadap gempa adalah simpangan bangunan, dimana simpangan yang terjadi (Δ) harus lebih kecil dari simpangan ijin (Δ_a). Penelitian ini menganalisis perilaku simpangan bangunan dari struktur bangunan berbentuk C dan U yang memiliki titik pusat massa lantai bangunan di luar bangunan dengan momen inersia arah X yang sama. Pembebanan yang diinput; beban mati, beban hidup dan beban gempa, Masing-masing struktur berlantai 5 dengan menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus. Digunakan respon spektra desain kota Jakarta selatan dengan asumsi tanah lunak. Analisis struktur menggunakan software Etabs versi 9.7. Analisis respon struktur yang ditinjau adalah simpangan, perpindahan, waktu getar, torsi serta volume bangunan. Diperoleh hasil analisis sebagai berikut; Pola simpangan berbeda meski momen inersia arah X sama. Gedung bentuk C lebih tahan terhadap gempa dibanding bentuk U, Simpangan maksimum bangunan bentuk C (arah X 18,61mm; arah Y 20,34 mm) dan bentuk U (arah X 26,67mm; arah Y 25,60mm). Bangunan bentuk C membutuhkan volume shearwall sebesar 10% dan bangunan bentuk U membutuhkan volume shearwall 6% dari volume masing-masing bangunan, Periode getar bangunan bentuk C 0,835 detik dan bentuk U 1,052 detik.

Kata kunci: Bentuk bangunan, Titik Pusat massa diluar bangunan, Respon spektrum, SNI 03-1726-2012

Abstract

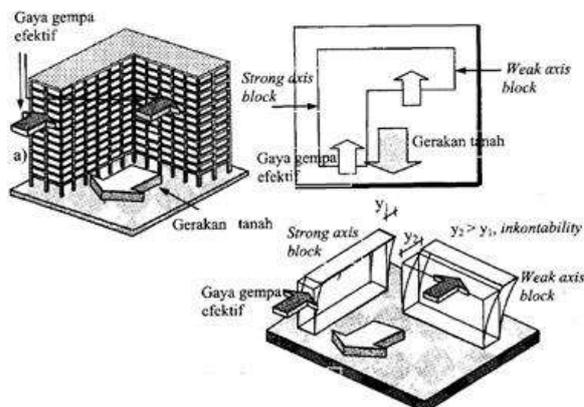
In the planning of the building structure, the shape of the building has an impact on the ability of the building to withstand lateral forces due to earthquake, one indication that the building is safe against the earthquake is the deflection of the building, where the deflection that occurs (Δ) must be smaller than the deflection drift allowed (Δ_a). This research analyzes the deflection of buildings from the C and U-shaped building structures that have the center point of the building floor mass outside the building with the same inertial moment X direction. Loading input; dead load, live load and earthquake load, Each 5-storey structure using special moment-carrying frame system. Used the response spectra design city of south Jakarta with the assumption of soft soil. Analysis of the structure using Etabs software version 9.7. Analysis of structural response reviewed is deflection, displacement, vibration time, torsion and building volume. The following analysis results are obtained; Different deflection patterns despite moment X inertial direction same. Building shape C is more resistant to earthquake than U shape, Maximum deflection of building shape C (direction X 18,6 mm; direction Y 20,3 4 mm) and U shape (direction X 26,67 mm; direction Y 25,60 mm). The C-shape building requires shearwall volume of 10% and U shape building requires shearwall volume of 6% of the volume of each building. The vibration period of the building C shape 0.835 seconds and U shape 1.052 seconds.

Keywords: Building shape, Center of mass outside building, Response Spectrum, SNI 03-1726-2012

PENDAHULUAN

Saat ini telah banyak berkembang program komputer dibidang perencanaan arsitektur hal tersebut memungkinkan perencana arsitektur merencanakan bangunan dengan bermacam-macam bentuk, dari bangunan beraturan hingga bentuk yang tidak beraturan. Pada bangunan tidak beraturan terdapat kemungkinan letak pusat masa bangunan tidak lagi berada didalam bangunan.

Pada prosesnya sering terjadi arsitek merencanakan suatu bentuk bangunan tidak beraturan tetapi tidak memperhatikan perilaku dari struktur bangunan tersebut, sehingga sering terjadi dimana penempatan elemen arsitektur (misalnya: *opening* pintu, jendela atau akses masuk) justru dilokasi yang seharusnya terdapat elemen struktur penahan gaya lateral akibat gempa (misalnya: *shearwall*, *lateral bracing* atau *corewall*).



Gambar 1. Gaya gempa terhadap bangunan tidak beraturan

Dalam perencanaan struktur, bentuk bangunan memiliki pengaruh terhadap kemampuan bangunan tersebut menahan gaya lateral akibat gempa, salah satu indikasi yang menyatakan bangunan tersebut aman terhadap gempa adalah simpangan bangunan, dimana simpangan yang terjadi akibat gempa (Δ) harus lebih kecil terhadap simpangan ijin (Δ_a). Penelitian ini didasarkan dan mengacu pada jurnal hasil penelitian sebelumnya yaitu "Analisis Pemodelan Bentuk Gedung T Dan L Dengan Inersia Yang Sama" karya Rizwan Komarudin dan Ir Heri Khoeri MT dan jurnal "Analisis Kinerja Struktur Pada Bangunan Bertingkat Beraturan dan Ketidakteraturan

Horizontal Sesuai SNI 03-1726:2012" karya Hotma L purba.

Sehingga berdasarkan jurnal tersebut maka perlu dilakukan penelitian baru dengan perubahan model bentuk bangunan, yaitu dengan tetap memiliki salah satu momen inersia yang sama akan tetapi titik pusat massa lantai bangunan yang tidak berada di dalam bangunan.

Dalam penelitian ini dipilih bangunan bentuk C dan U (terbalik), dimana keduanya memiliki titik pusat massa diluar bangunan, kemudian dilakukan analisis simpangan dari kedua struktur bangunan tersebut terhadap respon spektrum akibat gaya gempa.

BATASAN MASALAH

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Lokasi bangunan diasumsikan berada di Jakarta selatan.
2. Fungsi bangunan gedung sekolah dengan kondisi tanah lunak, terdiri dari 5 lantai dengan tinggi tiap lantai adalah 3,8m dan total ketinggian gedung 19 m.
3. Mutu beton K-300 / f_c' 24,9 MPa dengan Modulus elastisitas beton $E_c = 4700 \times \sqrt{f_c'}$.
4. Mutu tulangan baja BJTD $f_y = 410$ MPa untuk tulangan utama, dan BJTP $f_y = 240$ MPa untuk tulangan sengkang, dengan Modulus Elastisitas $E_s = 200.000$ MPa.
5. Penelitian ini menggunakan analisis respon spektrum.
6. Perbandingan respons spektrum kedua gedung tersebut dengan inersia yang sama terhadap sumbu arah X.
7. Dalam penelitian ini menganalisa struktur atas dari bangunan
8. Penelitian ini tidak menghitung kebutuhan tulangan struktur.
9. Pada penelitian ini menggunakan tinjauan kolom lemah "weak column" sehingga menggunakan dinding geser untuk dapat mengidentifikasi perbedaan letak dinding geser.
10. Bangunan disebut bentuk C jika denah bangunan tersebut menyerupai huruf C, dan perbandingan antara kedalaman coakan bangunan dengan lebar coakan

bangunan, kurang dari atau sama dengan (\leq) 1,5.

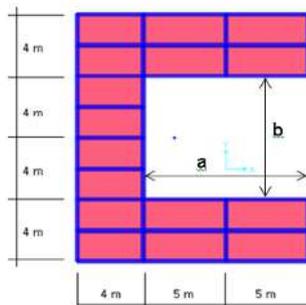
11. Bangunan disebut bentuk U jika denah bangunan tersebut menyerupai huruf U (terbalik), dan perbandingan antara kedalaman coakan bangunan dengan lebar coakan bangunan, lebih dari atau sama dengan (\geq) 1,5.
12. Bentuk bangunan C merupakan dasar perbandingan terhadap bentuk bangunan U.
13. Peraturan gempa yang digunakan SNI 1726:2012.
14. Peraturan Pembebanan yang digunakan SNI 1727:2013.
15. Perangkat lunak yang digunakan ETABS Versi 9.7. Ms Excel 2010, Ms. Word 2010 dan Ms. Visio 2010.

PEMODELAN BENTUK BANGUNAN

Dimodelkan masing-masing gedung 5 lantai dengan tinggi tiap lantai adalah 3,8 m dan total ketinggian gedung 19 m

Bangunan Bentuk C

Denah tampak atas bangunan bentuk C seperti gambar 2 dibawah ini:



Gambar 2. Tampak atas denah bentuk C

Pengecekan bentuk C:

(a) Kedalaman coakan = 10 m

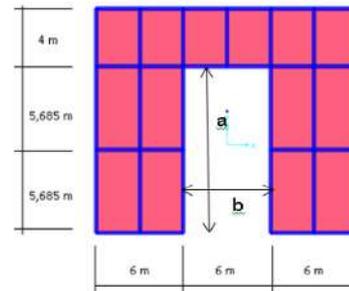
(b) Lebar coakan = 8 m

Perbandingan $(a / b) = (10 / 8) = 1.25 < 1.5$

Karena $(a / b) < 1.5$ maka bangunan tersebut dapat disebut berbentuk C mengacu pada batasan masalah.

Bangunan Bentuk U

Disebut bentuk U karena menyerupai huruf U namun dalam kondisi terbalik, akan tetapi untuk memudahkan penyebutan dalam penelitian ini, selanjutnya bangunan bentuk ini disebut bangunan bentuk U



Gambar 3. Tampak atas denah bentuk U

Pengecekan bentuk U:

(a) Kedalaman coakan = 11,37 m

(b) Lebar coakan = 6 m

Perb. $(a / b) = (11,37 / 6) = 1,89 > 1.5$

Karena $(a / b) > 1.5$ maka bangunan tersebut dapat disebut berbentuk U mengacu pada batasan masalah.

MAKSUD DAN TUJUAN

Maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah:

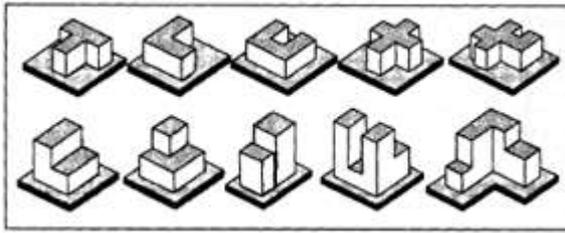
1. Mendapatkan simpangan struktur dari kedua model bentuk bangunan.
2. Mendapatkan perbedaan pola simpangan struktur dari kedua model bentuk bangunan.
3. Mendapatkan pengaruh posisi *shearwall* terhadap pola simpangan.
4. Mendapatkan lokasi *shearwall* untuk bentuk bangunan C dan U sehingga kedua bentuk bangunan aman terhadap gempa.
5. Memperoleh salah satu bentuk bangunan yang lebih tahan terhadap gempa.
6. Memperoleh hasil analisis volume *shearwall* dari kedua model bentuk bangunan.

TINJAUAN PUSTAKA

Konfigurasi Struktur

Konfigurasi struktur bangunan sangat berpengaruh dalam suatu perencanaan bangunan. Struktur bangunan gedung diklasifikasikan sebagai bangunan beraturan dan tidak beraturan berdasarkan SNI 1726:2012. Terdapat dua ketidak beraturan struktur yaitu:

- a. Ketidak beraturan struktur horizontal
- b. Ketidak beraturan struktur vertikal



Gambar 4. Bangunan *irregular* (arnold & reithermen, 1982)

Menurut SNI 1726:2012 bentuk bangunan C dan U pada penelitian ini termasuk kategori bangunan dengan ketidakberaturan struktur horizontal.

Pembebanan Struktur

Berikut adalah pembebanan yang diinput dalam penelitian ini:

1. **Beban Mati (*Dead Load*)**
adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, (dinding, lantai, atap, plafon & dll).
2. **Beban Hidup (*Live Load*)**
Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain (Angin, Hujan & dll).
3. **Beban Gempa (*Earthquake*)**
Beban gempa adalah semua beban ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa tersebut.

Kombinasi Pembebanan

Kombinasi struktur harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor sesuai dengan SNI 1726-2012:

- 1,4D
1,2D + 1,6L
1,2D + 1L + 0,3 ($\rho Q_E + 0,2 S_{DS} D$) + 1 ($\rho Q_E + 0,2 S_{DS} D$)
1,2D + 1L + 1 ($\rho Q_E + 0,2 S_{DS} D$) + 0,3 ($\rho Q_E + 0,2 S_{DS} D$)
0,9 D + 0,3 ($\rho Q_E - 0,2 S_{DS} D$) + 1 ($\rho Q_E - 0,2 S_{DS} D$)
0,9 D + 1 ($\rho Q_E - 0,2 S_{DS} D$) + 0,3 ($\rho Q_E - 0,2 S_{DS} D$)
dengan:
E = Eh + Ev
E = Eh - Ev

dimana:

$$E_h = \rho Q_E$$

$$E_v = 0,2 S_{DS} D$$

Geser Dasar Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2012, geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \times W_t$$

dimana:

C_s = Koefisien respons seismik

W_t = Berat seismik efektif / berat total bangunan

Simpangan Antar Lantai

Simpangan (*drift*) adalah perpindahan *lateral relative* antara dua tingkat bangunan yang berdekatan atau simpangan mendatar tiap-tiap tingkat bangunan (*horizontal story to story deflection*).

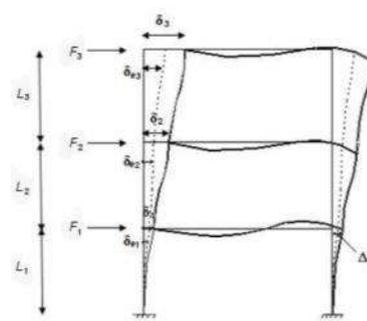
$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

dimana:

C_d = faktor amplifikasi defleksi dalam

δ_{xe} = defleksi yang ditentukan dengan analisis elastis

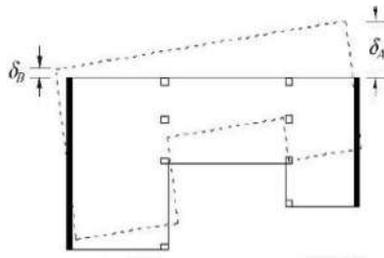
I_e = faktor keutamaan gempa



Gambar 5. Simpangan antar lantai
Sumber: SNI 1726: 2012

Torsi

Torsi merupakan puntiran yang terjadi pada penampang tegak lurus terhadap sumbu utama dari elemen. Torsi ini dapat meningkatkan *displacement* pada titik ekstrim bangunan dan menimbulkan masalah pada elemen penahan lateral yang berlokasi pada tepi gedung.



Gambar 6. Faktor pembesaran torsi (Ax)
Sumber: SNI 1726: 2012

Pengaruh Efek P-Δ

Pengaruh P-Δ pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan dan simpangan antar lantai tingkat yang timbul oleh pengaruhnya, tidak disyaratkan untuk diperhitungkan apabila koefisien stabilitas (Θ) kurang dari 0,1 Pengaruh P-Δ ditinjau dengan persamaan berikut sesuai SNI 1726: 2012 :

$$\Theta = \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_g}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d}$$

Koefisien stabilitas (Θ) harus tidak melebihi Θmaks yang ditentukan dengan persamaan

$$\Theta_{maks} = \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} < 0,25$$

METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan analisis penelitian dijelaskan melalui diagram alir seperti Gambar 7 dibawah ini. Tahap pertama menentukan dimensi ukuran atau pemodelan denah bangunan dari kedua bentuk bangunan, dengan acuan inersia arah X harus sama.

Kemudian melakukan analisis bangunan bentuk C hasil analisis disimpan, kemudian dengan parameter yang sama, dilakukan analisis terhadap bangunan bentuk U, sehingga pada akhirnya dihasilkan perbandingan analisis dari kedua bentuk bangunan tersebut, untuk diambil kesimpulannya.



Gambar 7. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

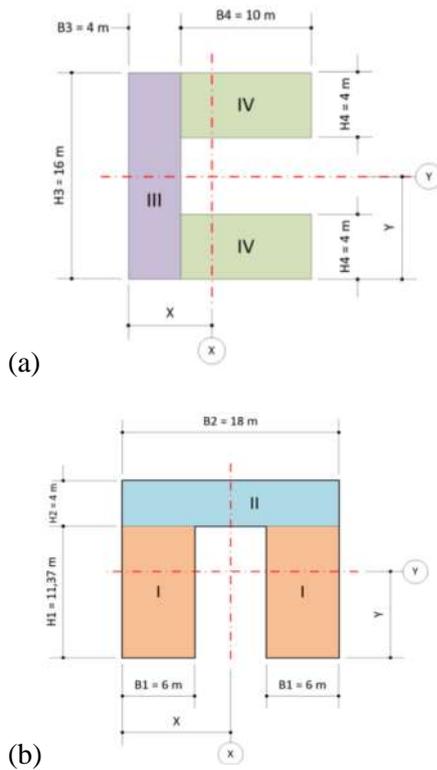
Berikut adalah data-data dari bangunan yang dianalisis:

- Fungsi bangunan : Gd. sekolah 5 Lantai
- Tinggi tiap lantai : 3,8 m
- Jenis struktur : Beton bertulang
- Jenis tanah : Tanah Lunak
- Mutu Beton : K-300
- Sistem rangka : SRPMK

Pengecekan Momen Inersia

Dilakukan pengecekan momen inersia, supaya momen inersia arah X dari kedua

bangunan sama sebagai variabel terikat. Untuk itu bangunan C ditetapkan sebagai ekisting atau terkunci sedangkan dimensi bangunan U diatur sedemikian rupa sehingga momen inersia arah X nya sama dengan inersia arah X bangunan bentuk C.



Gambar 8. Titik pusat massa bangunan
(a) bentuk C, (b) bentuk U

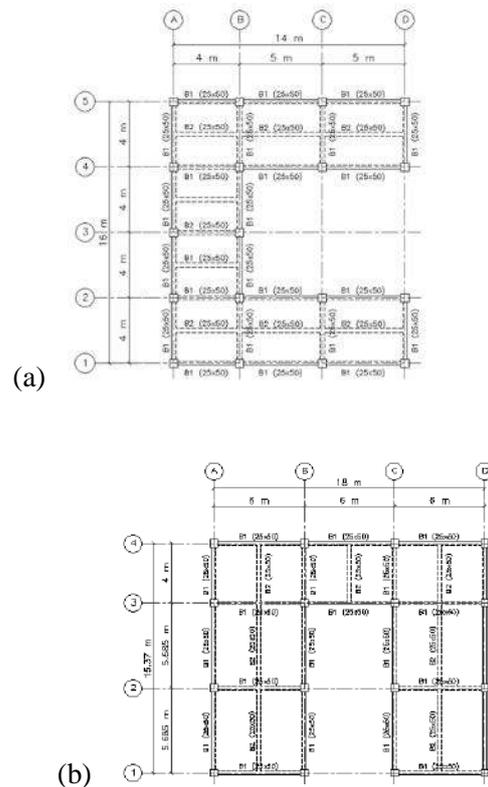
Tabel 1. Hasil perhitungan momen inersia

Momen Inersia	Bentuk U	Bentuk C	Ket.
I _x	4352 m ⁴	4352 m ⁴	OK
I _y	7266,67 m ⁴	2494,22 m ⁴	

Perhitungan Dimensi Struktur

Dalam merencanakan dimensi struktur bangunan pada penelitian ini digunakan estimasi dimensi struktur mengacu terhadap SNI 2847:2013 adapun tulangan struktur pada penelitian ini tidak dihitung.

Konfigurasi perletakan balok dan kolom ditampilkan pada gambar 9, posisi balok anak untuk kedua bangunan dibuat sama, dengan dimensi balok dan kolom ditampilkan pada tabel 2 berikut ini.



Gambar 9. Denah struktur C dan U
(a) bentuk C, (b) bentuk U

Tabel 2. Rekapitulasi dimensi struktur

Member	Dimensi	Keterangan
S1	T = 150 mm	Pelat lantai
B1	200 mm x 500 mm	Balok Induk
B2	200 mm x 500 mm	Balok Anak
K1	350 mm x 350 mm	Kolom Persegi
SW1	T = 150 mm	Shearwall

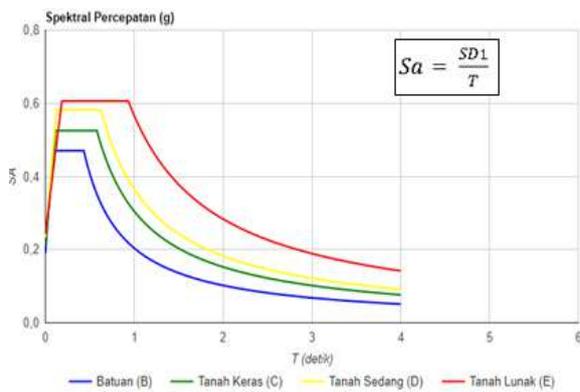
Lokasi Perencanaan

Lokasi : Gandaria, Jakarta selatan
Koordinat : -6.24610982194160
: 106.78524203365669

Pembebanan Gempa

Kondisi tanah : Tanah lunak
Kategori resiko : IV
Faktor keutamaan, I_e : 1.5
Kelas situs : Tanah Lunak (SE)
KDS : D

Grafik respons spektrum akibat tanah lunak pada lokasi perencanaan ditampilkan pada gambar 10.



Gambar 10. Grafik respons spektrum

Sumber:

http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/

Pemilihan Sistem Struktur dan Parameter Sistem (R, Cd, Ω_0)

Koefisien modifikasi respons (R), factor kuat lebih (Ω_0), dan koefisien amplifikasi defleksi (Cd), mengacu pada SNI 1726-2012 harus digunakan dalam penentuan gaya geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar lantai tingkat desain.

Diketahui:

KDS \rightarrow D

Sistem struktur SRPMK

Diperoleh:

R = 8

 $\Omega_0 = 3$

Cd = 5.5

SRMPK \rightarrow Tidak dibatasi

Periode Alami Fundamental Struktur

Periode alami struktur, T pada arah yang ditinjau tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u).

Diketahui:

Tinggi total struktur = 19 m

Cu = 1,4

Ct = 0,0466

x = 0,9

Periode alami pendekatan:

 $T_{a \min} = C_t \times h_n^x$ $T_{a \min} = 0,0466 \times 19^{0,9} = 0,659$ $T_{a \max} = C_u \times T_{a \min}$ $T_{a \max} = 1,4 \times 0,659 = 0,923$

Tc (etabs) = 1.108 detik

Karena Tc > $T_{a \max}$, maka diambilT = $T_{a \max} = 0,923$

Diperoleh periode alami struktur T = 0.923

Gaya Geser Dasar Bangunan C

Koefisien Respons Seismik

Besaran koefisien respons seismic Cs, dihitung menggunakan persamaan

$$C_{s \min} \leq C_s \text{ hitungan} \leq C_{s \max}$$

Diketahui:

SDS = 0,606

SD1 = 0.568

Ie = 1,5

Ta = 0,923

R = 8

Koefisien respons seismic dihitung:

$$C_{s \min} = 0,044 \times S_{DS} \times I_e$$

$$C_{s \min} = 0,044 \times 0,606 \times 1,5 = 0,0399$$

$$C_{s \max} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)}$$

$$C_{s \max} = \frac{0,568}{0,923 \times \left(\frac{8}{1,5} \right)} = 0,115$$

$$C_{s \text{ hit}} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e} \right)}$$

$$C_{s \text{ hit}} = \frac{0,606}{\left(\frac{8}{1,5} \right)} = 0,114$$

Diambil koefisien respons seismic

Cs = 0,114

Gaya geser dasar bangunan C

$$V = C_s \times W_t$$

$$W_t = \text{Berat seismik efektif bangunan C}$$

$$V = 0,114 \times 5311,08 \text{ kN}$$

$$V = 605,46 \text{ kN}$$

Pers.

(1)

Gaya Geser Dasar Bangunan U

Diketahui:

SDS = 0,606

SD1 = 0.568

Ie = 1,5

Ta = 1.108

R = 8

Koefisien respons seismic dihitung:

$$C_{s \min} = 0,044 \times S_{DS} \times I_e$$

$$C_{s \min} = 0,044 \times 0,606 \times 1,5 = 0,0399$$

$$C_{s \max} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)}$$

$$Cs_{max} = \frac{0,568}{1.108 \times \left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,096$$

$$Cs_{hit} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_s}\right)}$$

$$Cs_{hit} = \frac{0,606}{\left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0.114$$

Diambil koefisien respons seismic

$$Cs = 0,096$$

Gaya geser dasar bangunan U

$$V = Cs \times Wt$$

Wt = Berat seismik efektif bangunan U

$$V = 0.096 \times 6499.48 \text{ kN}$$

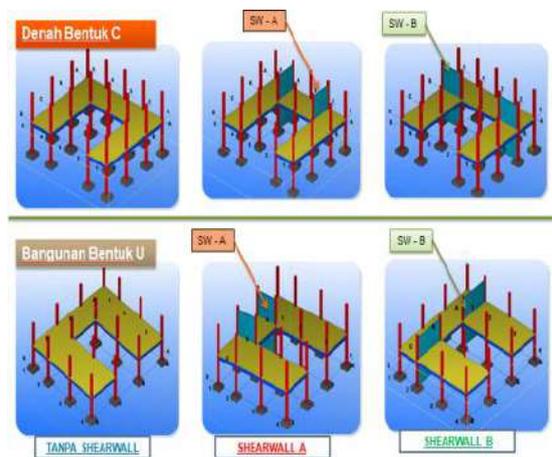
$$V = 624.60 \text{ kN}$$

Pers.

(2)

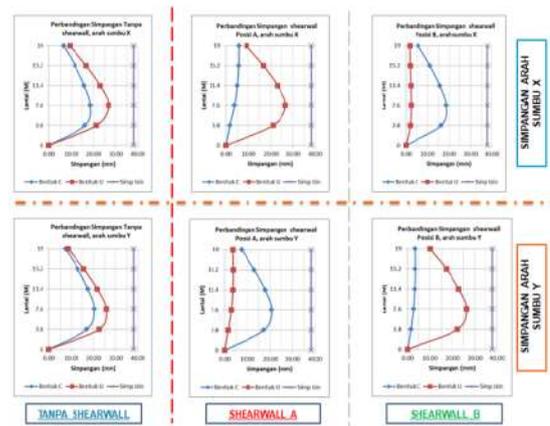
Analisis Perbandingan Struktur Bangunan Bentuk C dan Bentuk U

Pada analisis ini menganalisa perbandingan simpangan, periode getar struktur, *Point displacement*, Torsi dan pengaruh P delta dari kedua kedua bentuk bangunan. Dibandingkan antara bangunan tanpa *shearwall*, *shearwall* pada posisi A dan posisi B, posisi *shearwall* A dan B ditentukan dengan pertimbangan bahwa lokasi tersebut sangat rentan dan lemah terhadap pengaruh gempa.



Gambar 11. Bangunan C & U dengan berbagai posisi *shearwall*

Grafik simpangan ditampilkan pada gambar 12 dapat ditarik kesimpulan bahwa simpangan struktur yang terjadi baik dengan menggunakan *shearwall* ataupun tanpa *shearwall* tidak melebihi batas simpangan yang diijinkan.



Gambar 12. Grafik simpangan tanpa SW, SW-A & SW-B

Periode Getar Struktur

Selain simpangan struktur dilakukan pula analisis waktu getar struktur dan pengaruh gempa terhadap torsi bangunan, diperoleh hasil seperti di tampilkan pada tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Periode getar struktur

Displ.	Waktu getar (detik)		
	Tanpa Shearwall	Shearwall A	Shearwall B
Bentuk C	0.835	0.838	0.799
Bentuk U	1.052	1.046	0.931

Torsi Bangunan

Pada Tinjauan Torsi bangunan ternyata pengaruh gempa terhadap torsi bangunan

Tabel 4. Perbandingan kategori torsi bangunan

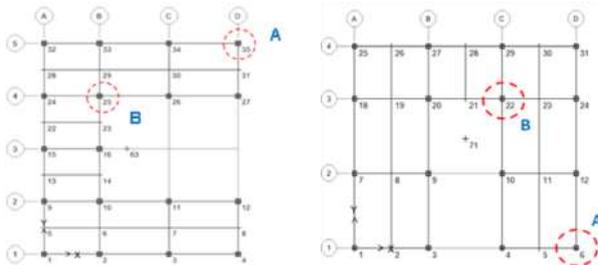
Displ.	Bentuk C		
	Tanpa Shearwall	Shearwall A	Shearwall B
Arah X	Tanpa	Tanpa	Tanpa
	Ketidakteraturan torsi	Ketidakteraturan torsi	Ketidakteraturan torsi
Arah Y	Tanpa	Tanpa	Ketidakteraturan torsi
	Ketidakteraturan torsi	Ketidakteraturan torsi	Ketidakteraturan torsi 1b

Displ.	Bentuk U		
	Tanpa Shearwall	Shearwall A	Shearwall B
Arah X	Tanpa	Tanpa	Ketidakteraturan torsi
	Ketidakteraturan torsi	Ketidakteraturan torsi	Ketidakteraturan torsi 1b
Arah Y	Tanpa	Tanpa	Ketidakteraturan torsi
	Ketidakteraturan torsi	Ketidakteraturan torsi	Ketidakteraturan torsi 1b

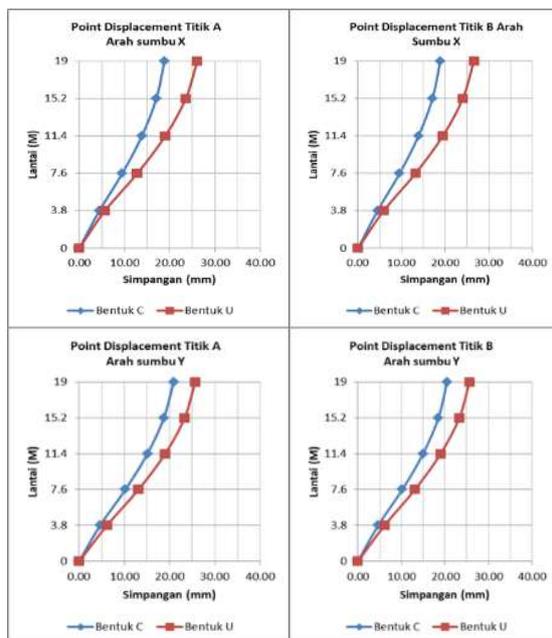
-terlihat berbeda untuk bangunan bentuk C dengan posisi *shearwall* B dimana untuk arah X mengalami ketidak beraturan torsi 1b, sedangkan untuk bangunan bentuk U pada posisi *shearwall* B baik arah sumbu X dan sumbu Y mengalami ketidatan beraturan torsi 1b, seperti ditampilkan pada tabel 4.

Point Displacement

Kemudian dilakukan pengecekan *point displacement* ditentukan dua titik yang dianggap akan mengalami perpindahan titik yang maksimum seperti ditampilkan pada gambar 13 dan hasilnya di tampilkan dalam grafik sesuai gambar 14 dibawah ini, diperoleh hasil bahwa bentuk bangunan c memiliki perpindahat titik yang lebih kecil dibanding bentuk bangunan U.



Gambar 13. Lokasi tinjauan *point displacement*



Gambar 14. Grafik *point displacement*

Dilakukan pengecekan P-delta efek menggunakan persamaan dengan tata cara perhitungan sesuai SNI 1726- 2012:

$$\Theta = \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_g}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d}$$

$$\Theta_{maks} = \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} < 0,25$$

Untuk kondisi tanpa SW, SW-A dan SW-B, ternyata pada penelitian ini pengaruh P-delta efek dapat diabaikan, hal ini diduga karena bangunan hanya 5 lantai, belum termasuk kategori bangunan tinggi.

Tabel 5. P-delta efek

Shearwall	P-delta efek
Tanpa SW	Dapat diabaikan
SW Posisi A	Dapat diabaikan
SW Posisi B	Dapat diabaikan

Analisis Pengaruh Posisi *Shearwall*

Pada analisis ini kolom struktur di lemahkan dengan Hal ini bertujuan supaya simpangan bangunan yang terjadi melebihi persyaratan simpangan ijin sehingga dibutuhkan penggunaan *shearwall*. Kemudian *shearwall* diletakan pada lokasi yang berbeda-beda agar diperoleh pola simpangan dengan posisi *shearwall* yang berbeda. Adapun ukuran pelat lantai, balok dan ketebalan *shearwall* tidak dirubah.

Tabel 6. Perubahan ukuran kolom

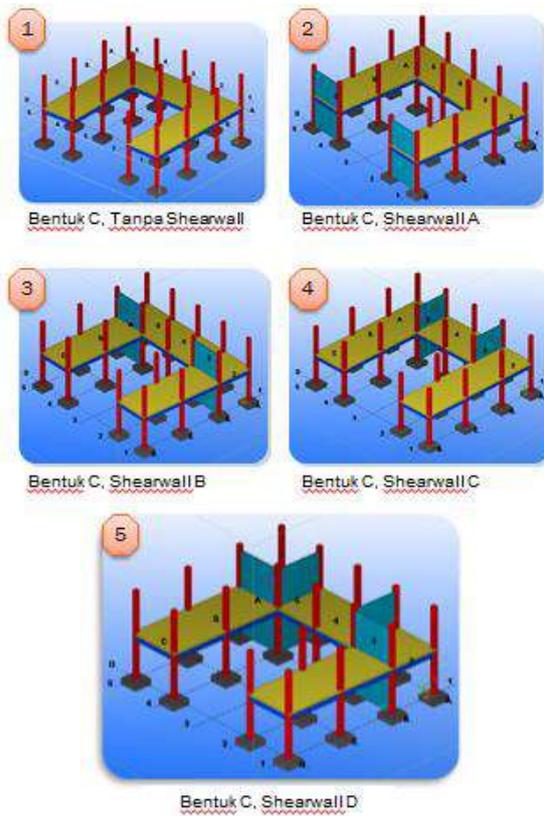
Member	Dimensi	Keterangan
S1	T = 150 mm	Pelat lantai
B1	200 mm x 500 mm	Balok Induk
B2	200 mm x 500 mm	Balok Anak
K1	350 mm x 350 mm	Kolom Persegi
SW1	T = 150 mm	<i>Shearwall</i>

K1 = 200 x 200

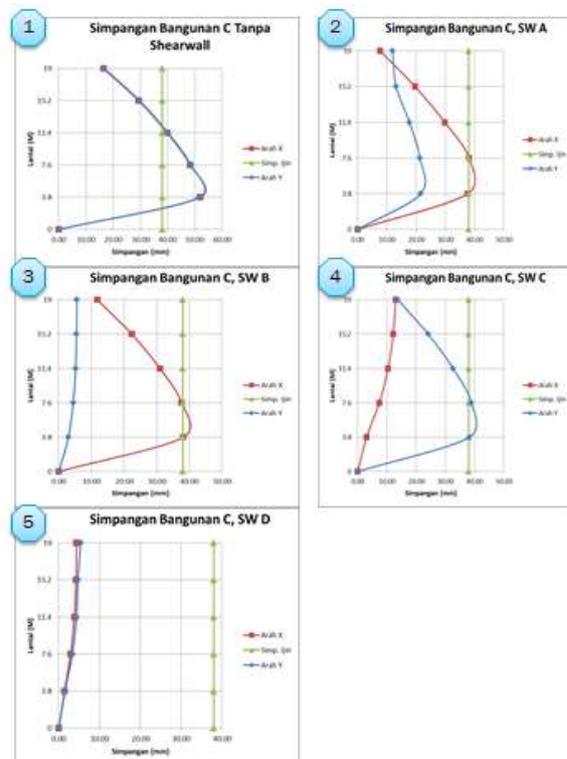
Pola Simpangan bangunan Bentuk C

Analisis pengaruh posisi *shearwall* bangunan bentuk C terhadap pola simpangan ditampilkan dalam gambar 15 dibawah ini.

Pengaruh P-delta Efek



Gambar 15. Berbagai posisi *shearwall* bangunan bentuk C

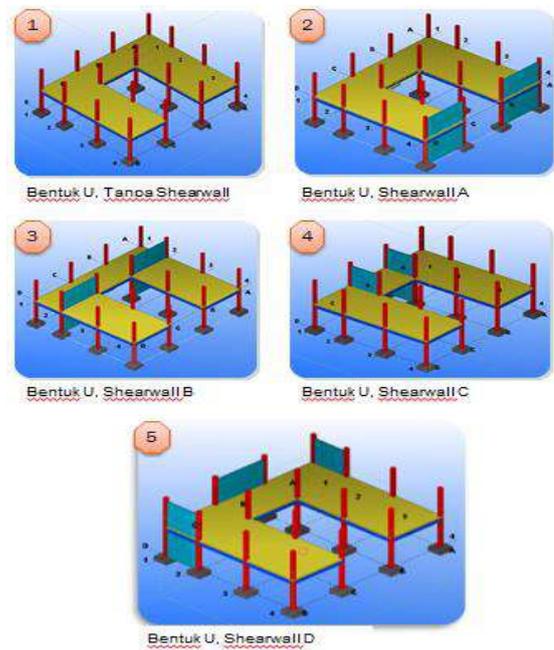


Gambar 16. Grafik pola simpangan bangunan bentuk C

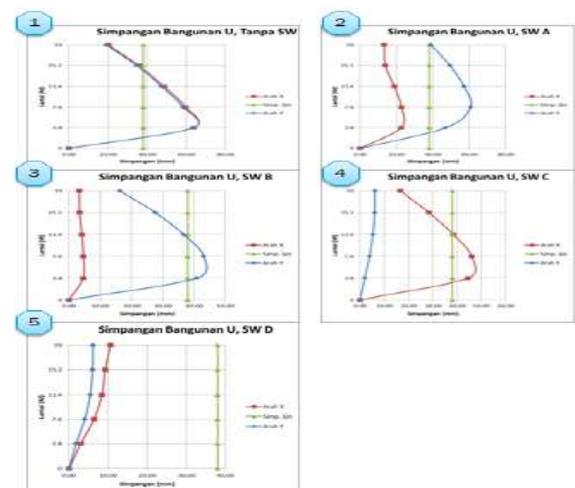
Diperoleh poisisi *shearwall* yang tepat untuk bangunan bentuk C mengacu pada grafik simpangan pada gambar 16 dengan posisi *shearwall* pada gambar 15 pada No. ke-5.

Pola Simpangan bangunan Bentuk U

Analisis pengaruh posisi *shearwall* bangunan bentuk U terhadap pola simpangan ditampilkan dalam gambar 18 dibawah ini, serta diperoleh poisisi *shearwall* yang tepat untuk bangunan bentuk U adalah pada gambar 17 pada No. ke-5.

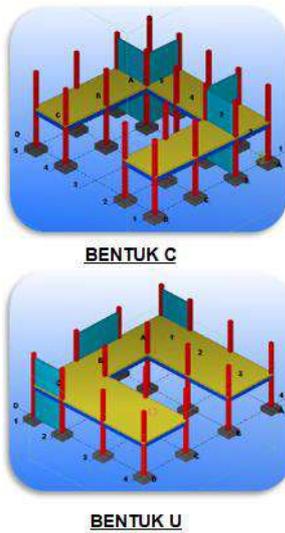


Gambar 17. Berbagai posisi *shearwall* bangunan bentuk U



Gambar 18. Grafik pola simpangan bangunan bentuk U

Dapat diambil kesimpulan pula ternyata kebutuhan posisi *shearwall* yang efektif untuk bangunan bentuk C dan bentuk U ternyata berbeda, ditampilkan pada gambar 19 dibawah ini.



Gambar 19. Posisi *shearwall* yang efektif untuk kedua bentuk bangunan

Analisis Volume Bangunan Tanpa *Shearwall* dan Dengan *Shearwall*

Dari analisis pola simpangan diketahui bahwa posisi *shearwall* yang tepat untuk masing-masing bangunan seperti pada gambar 19, kemudian dilakukan perbandingan peningkatan volume bangunan, antara bangunan dengan kolom 350 x 350 tanpa *shearwall* dan bangunan dengan kolom 200 x 200 + *shearwall*. Diperoleh hasil penambahan volume bangunan bentuk C sebesar 10% sedangkan bangunan bentuk U memiliki penambahan volume bangunan sebesar 6%.

Member	Volume Beton (M ³)
Pelat Lantai	96.00
Balok	14.25
Kolom	41.90
Total Volume	152.15

Member	Volume Beton (M ³)
Pelat Lantai	96.00
Balok	14.25
Kolom	13.68
Shearwall	48.22
Total Volume	167.25

+ 10%

Gambar 20. Penambahan volume bangunan bentuk C

Member	Volume Beton (M ³)
Pelat Lantai	156.33
Balok	19.53
Kolom	37.24
Total Volume	213.10

Member	Volume Beton (M ³)
Pelat Lantai	156.33
Balok	19.53
Kolom	12.16
Shearwall	38.19
Total Volume	226.21

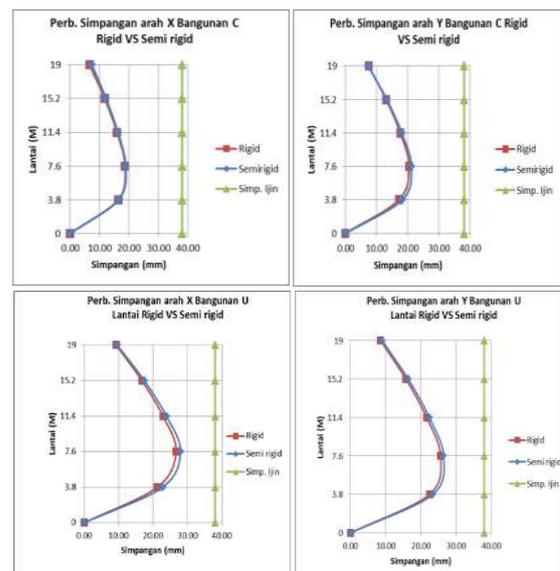
+ 6%

Gambar 21. Penambahan volume bangunan bentuk C

Analisis Simpangan Bangunan Jika Lantai Bangunan Dimodelkan Rigid dan Semi rigid

Dilakukan analisis membandingkan hasil analisis jika kedua bentuk bangunan lantai bangunannya dimodelkan dengan Rigid vs Semi rigid, diperoleh hasil grafik simpangan seperti gambar 22 dibawah ini, rasio simpangan untuk arh x sebesar 3% dan arah y sebesar 4% dimana pemodelan semirigid memiliki simpangan lebih besar

Dibandingkan pemodelan rigid pemodelan lantai bangunan Semi rigid lebih *reliabel* untuk kondisi bangunan yang memiliki ketidak beraturan struktur horizontal seperti bangunan bentuk C dan U.



Gambar 22. Grafik simpangan Rigid vs Semirigid

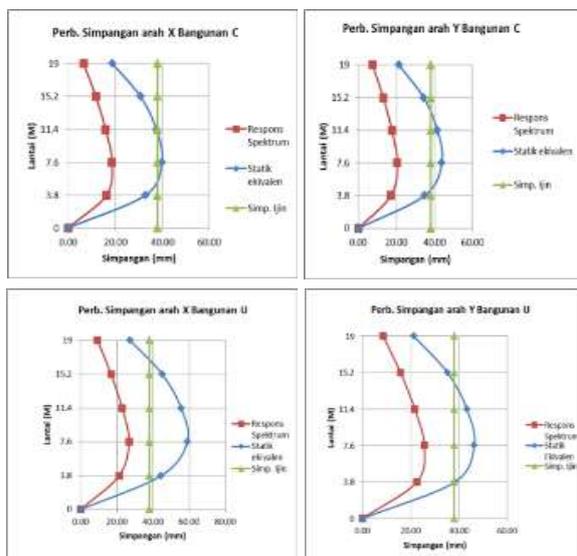
Analisis Simpangan Bangunan Menggunakan Analisis Respons Spektrum dan Statik Ekuivalen

Dilakukan analisis membandingkan hasil analisis jika kedua bentuk bangunan dianalisis menggunakan analisis respons spectrum vs Statik ekuivalen, diperoleh hasil grafik simpangan seperti gambar 23, dimana gaya geser dasar bangunan bentuk C, $V = 605.46$ kN pers. (1) hal. 7, dan gaya geser dasar bangunan bentuk U, $V = 624.60$ kN pers. (2) hal. 8.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis struktur gedung bentuk C dan U menggunakan SNI 1726:2012 dan SNI 2847:2012 diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Terjadi perbedaan simpangan struktur dari kedua bentuk bangunan meskipun memiliki salah satu momen inersia yang sama.
2. Posisi *shearwall* mempengaruhi pola simpangan dari kedua struktur tersebut.
3. Letak posisi *shearwall* untuk kedua bentuk bangunan ternyata memiliki lokasi yang berbeda.
4. Bentuk bangunan C memiliki ketahanan terhadap gempa lebih baik dibanding dengan bangunan bentuk U ditinjau dari simpangan struktur, periode getar struktur, *point displacement*, torsi dan gaya geser dasar struktur akibat gempa.



Gambar 23. Grafik simpangan Respons spektrum vs Statik ekuivalen

5. Meskipun bangunan bentuk C memiliki ketahanan gempa lebih baik, tetapi bangunan bentuk C membutuhkan volume *shearwall* lebih besar dibanding bangunan bentuk U.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 1726-2012 "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung". Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). SNI 2847-2012: *Tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). SNI 1727-2012: *Tentang Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan*.
- Budiono, Bambang. (2017). *Contoh Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Sistem Rangka pemikul Momen Khusus Dan Sistem Dinding Struktur Khusus Di Jakarta* : Penerbit ITB.
- Fauziah, Lilik. (2013). *Pengaruh Penempatan dan Posisi Dinding Geser Terhadap Simpangan Bangunan Beton Bertulang Bertingkat Banyak Akibat Beban Gempa*. Jurnal Sipil Statik Vol.1, Juni 2013 (466-472)
- Komarudin, R. (2017). *Analisis Pemodelan Bentuk Gedung T Dan L Dengan Inersia Yang Sama Terhadap Respons Spektrum*. Jurnal Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta.