

**KAJIAN POSISI SHEAR WALL PADA GEDUNG TIDAK BERATURAN
DENGAN ANALISIS RIWAYAT WAKTU BEBAN GEMPA
Heru Nurcahyo¹⁾, Reni Suryanita²⁾, Alex Kurniawandy²⁾**

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya J. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email : heru.nurcahyo@student.unri.ac.id

Abstract

Irregularity of building structure often emerges due to the room configurations to meet the architectural requirements. In irregular building, eccentricity exists between its center of mass and its center of rotation. The eccentricity generates torsion, which usually leads to the placement of rigid structural elements to increase the rotational stiffness of the building structure. One of the options to increase the building structure stiffness is by placing shear walls in the building. This research aims to analyze the impact of structure irregularity to the eccentricity of building structure and the effectiveness of various shear wall configurations to resist earthquake load. Building to be analyzed is Aulia Hospital buildings with earthquake load time history. Modeling is done with the help of the finite element program. The model will be made to the building without shear wall, existing and modification. The modified model is a model with a different positioning of the existing shear wall based parameter eccentricity. The analysis produced fundamental period and maximum displacement of the building as output. The fundamental period was calculated equal to 3.102 second for the building without shear wall; 2.087 second for the existing building; 2.011 second for Modification 1 Building; and 1.756 second for Modification 2 Building. The maximum displacement in X direction was calculated equal to 246.01 mm for the building without shear wall; 114.1 mm for the existing building; 107.24 mm for Modification 1 Building; and 102.07 mm for Modification 2 Building. Whereas the maximum displacement in Y direction was calculated equal to 230.37 mm for the building without shear wall; 169.7 mm for the existing building; 156.5 mm for Modification 1 Building; and 97.7 mm for Modification 2 Building. Based on the analysis results, it can be concluded that Modification 2 is the most effective model to resist earthquake loading.

Keywords: Shear wall, Irregular Building, Eccentricity, Displacement

A. PENDAHULUAN

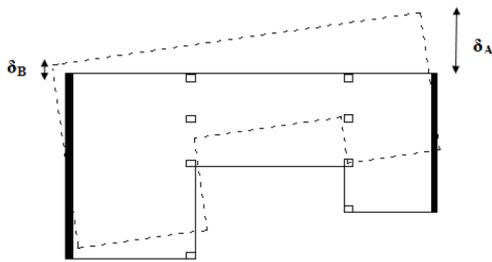
Pekanbaru merupakan kota yang sedang berkembang menjadi kota metropolitan. Saat ini telah banyak dibangun gedung-gedung bertingkat sebagai tempat aktifitas masyarakat Kota Pekanbaru. Meskipun Kota Pekanbaru termasuk daerah rawan gempa yang intensitasnya rendah, namun melihat meningkatnya intensitas gempa diberbagai kota di Indonesia saat ini, struktur gedung tahan gempa menjadi hal yang harus diperhatikan agar tidak menimbulkan dampak yang besar.

Perencanaan struktur gedung tahan gempa harus diperhatikan, khususnya untuk gedung tidak beraturan. Dalam Standar Nasional Indonesia (SNI 03-1726-2012) tentang Tata Cara Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, struktur bangunan gedung dibedakan ke dalam dua kategori, yaitu struktur bangunan gedung beraturan dan tidak

beraturan. Menurut Paulay dan Priestley (1991), desain ketahanan gempa bangunan dengan bentuk beraturan lebih sederhana dibandingkan bangunan yang tidak beraturan.

Struktur gedung yang ketinggiannya melebihi batas ketinggian struktur gedung beraturan harus memperhitungkan tambahan momen guling akibat efek P-Delta yang terjadi pada struktur gedung yang fleksibel. Seperti pada Gambar 1, bangunan tidak beraturan juga mudah mengalami puntir akibat pusat massa dan pusat kekakuan yang tidak berimpit.

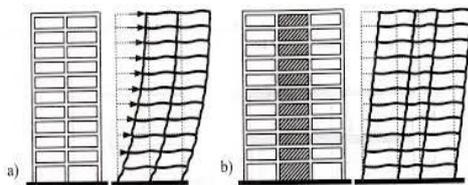
Saat ini gedung tidak beraturan sudah semakin banyak. Ketidakberaturan itu sendiri muncul karena adanya tuntutan estetika maupun tata guna ruang. Dari segi analisis hal ini tidak menjadi masalah, dengan tersedianya berbagai program saat ini, seperti program analisis berbasis elemen hingga .



Gambar 1. Gedung akibat Torsi (SNI 1726-2012)

Dengan melakukan analisis vibrasi bebas 3D dapat dilihat bagaimana kecenderungan perilaku struktur terhadap gempa. Apabila gerak ragam pertama sudah dominan dalam rotasi, hal ini menunjukkan perilaku yang buruk dan sangat tidak nyaman bagi penghuni ketika terjadi gempa. Pada gedung tidak beraturan cenderung terdapat jarak (eksentrisitas) pada titik pusat massa dan titik pusat rotasi. Eksentrisitas inilah yang menyebabkan adanya torsi pada bangunan tersebut (Widodo, 2013)

Sistem struktur demikian dapat diatasi dengan menempatkan unsur-unsur yang lebih kaku untuk memperbesar kekakuan rotasi sistem struktur secara keseluruhan, sehingga gerak ragam pertama menjadi dominan dalam translasi. Salah satu solusi yang digunakan dalam memperbesar kekakuan rotasi adalah dengan menerapkan *shear wall* pada gedung, seperti pada Gambar 2. *Shear wall* adalah slab beton bertulang yang dipasang dalam posisi vertikal pada sisi gedung tertentu yang berfungsi menambah kekakuan struktur dan menyerap gaya geser yang besar seiring dengan semakin tingginya struktur. Penempatan posisi *shear wall* yang tepat dapat memperkecil jarak (eksentrisitas) antara titik pusat massa dan titik pusat rotasi



Gambar 2 *Shear Wall* pada Gedung (Park dan Paulay, 1974)

Untuk struktur gedung tidak beraturan, pengaruh gempa rencana harus ditinjau sebagai pengaruh pembebanan gempa dinamik. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dikaji penempatan posisi *shear wall* pada gedung

tidak beraturan dengan beban gempa riwayat waktu dengan studi kasus Gedung *Aulia Hospital* Pekanbaru.

Analisis dilakukan dengan batasan masalah sebagai berikut :

1. Model struktur yang digunakan adalah gedung beton bertulang dengan *shear wall* sebagai penahan gaya lateralnya. Studi kasus *Aulia Hospital*
2. Metode yang digunakan adalah *time history analysis* dengan akselerogram gempa El Centro.
3. Analisis respons struktur terhadap gempa dilakukan dengan bantuan *software* berbasis elemen hingga.
4. Model dengan *shear wall* modifikasi adalah model dengan posisi penempatan *shear wall* yang berbeda tetapi pada struktur gedung yang sama. Pemilihan model modifikasi didasarkan dari eksentrisitas gedung.
5. *Shear wall* modifikasi memiliki volume yang sama dengan *shear wall existing*
6. Analisis tidak meninjau biaya, manajemen proyek dan segi arsitektural
7. Standar yang digunakan yaitu SNI 1726-2012 tentang Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Gedung Tidak Beraturan

Berdasarkan SNI 1726-2012 struktur bangunan gedung diklasifikasikan sebagai gedung beraturan dan tidak beraturan. Klasifikasi tersebut harus didasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur bangunan gedung.

Tipe gedung tidak beraturan horizontal berdasarkan SNI 1726-2012 didefinisikan sebagai berikut :

1. Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam Pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragmanya kaku atau setengah kaku,
2. Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi

denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan.

3. Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 persen daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 persen dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.
4. Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal.
5. Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan gaya gempa.

Tipe gedung tidak beraturan vertikal didefinisikan sebagai berikut :

- 1a. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.
2. Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150 persen massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.
3. Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa di semua tingkat lebih dari 130 persen dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya.
4. Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya.
5. Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral

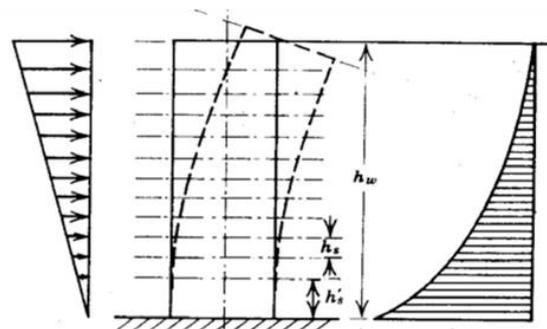
tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.

B.2 SHEAR WALL

Dinding geser merupakan salah satu elemen struktur yang berfungsi meningkatkan kekakuan struktur dan menahan gaya-gaya lateral. Dinding geser mempunyai kekakuan yang baik karena mampu meredam deformasi akibat gempa, sehingga kerusakan struktur dapat dihindari. Kekakuan dinding geser tidak hanya mengurangi deformasi atau simpangan horizontal saja, tetapi juga mampu menjamin terbentuknya sendi plastis pada struktur sebelum struktur mengalami keruntuhan.

Beberapa kerusakan akibat gempa pada umumnya berupa *cracking* yang terjadi pada dasar dinding dan pada bagian *coupling beam* khususnya pada dinding berangkai. Kegagalan lain yang sering terjadi adalah *fracture* (patah atau retak pada tulangan yang menahan tarik).

Struktur gedung dengan dinding geser sebagai elemen penahan gaya lateral pada umumnya memiliki kinerja (*performance*) yang cukup baik pada saat gempa. Dinding geser berperilaku sebagai balok lentur kantilever dengan anggapan jepit pada pondasinya. Sehingga dinding geser akan berdeformasi menurut prinsip lentur. Perilaku dinding geser dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Perilaku Dinding Geser (Park dan Paulay, 1974)

Jenis dinding geser berdasarkan geometrinya yaitu :

- a. *Flexural wall* (dinding langsing), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w \geq 2$, dimana desain dikontrol oleh perilaku lentur.

- b. *Squat wall* (dinding pendek), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w \leq 2$, dimana desain dikontrol oleh perilaku geser.
- c. *Coupled shear wall* (dinding berangkai), dimana momen guling yang terjadi akibat beban gempa ditahan oleh sepasang dinding, yang dihubungkan oleh balok-balok perangkai, sebagai gaya-gaya tarik dan tekan yang bekerja pada masing-masing dasar pasangan dinding tersebut.

C. METODOLOGI PENELITIAN

C.1 Data Struktur Gedung

Untuk membuat model tiga dimensi gedung dalam penelitian ini maka dibutuhkan data-data dimensi keseluruhan dari komponen struktur gedung. Data tersebut didapatkan dari gambar rencana gedung. Model tiga dimensi dapat dilihat pada Gambar 4. Data struktur *Aulia Hospital* dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 4. Gedung *Aulia Hospital*

Tabel 1. Data Struktur Gedung

Kriteria	Studi Kasus
Sistem Struktur	Sistem Ganda
Fungsi Gedung	Rumah Sakit
Jumlah Lantai	9
Tinggi Total	37 m
Lokasi	Pekanbaru
Jenis Tanah	Tanah Sedang
Material Struktur	Beton Bertulang

C.2 Data Material

Struktur gedung didesain menggunakan bahan beton bertulang dengan mutu dan persyaratan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 dan PPURG 1987 sebagai berikut:

Kuat tekan beton = K300 (balok dan lantai)
 K350 (*shear wall*)
 Tegangan leleh tulangan = 400 MPa

C.3 Pembebanan

Beban yang direncanakan terdiri dari beban mati, beban hidup dan beban gempa. Untuk beban mati dan beban hidup sesuai dengan persyaratan PPURG 1987 dan SNI 1727-2013. Beban mati pada gedung dapat dilihat pada Tabel 2. Beban hidup pada gedung dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Beban Mati pada Gedung

No	Jenis Beban	Berat (KN/m ³)
1	Beton bertulang	24
2	Lapisan aspal	14
3	Curtain wall kaca	0,6
4	Langit- langit dan penggantung	0,2
5	<i>Finishing</i> lantai	22
6	Marmer, granit per cm tebal	0,24
7	Instalasi <i>plumbing</i>	0,25

Sumber: PPURG 1987

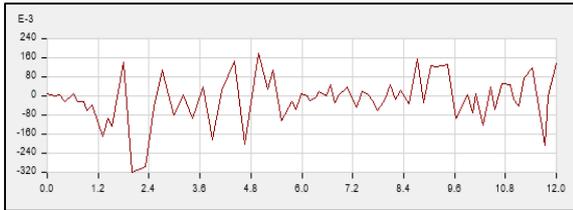
Tabel 3. Beban Hidup pada Gedung

No	Jenis Beban	Berat (kN/m ²)
1	Ruang Operasi, laboratorium	2.87
2	Ruang pasien	1.92
3	Koridor diatas lantai pertama	3.83
4	Ruang Pertemuan	4.79
5	Atap datar	0.96
6	Atap digunakan untuk taman atap	4.79
7	Helipad	2.87

Sumber: SNI 1726-2012

Beban gempa menggunakan analisis riwayat waktu beban gempa. Riwayat waktu yang digunakan dalam analisis menggunakan akselerogram El Centro dengan percepatan puncak 0,319 g dan durasi selama 12 detik seperti yang ada pada Gambar 5.

Riwayat waktu gempa harus disesuaikan terlebih dahulu dengan percepatan tanah puncak lokasi yang ditinjau. Berdasarkan SNI 1726-2012 percepatan tanah puncak Pekanbaru didapatkan dari Gambar 6.



Gambar 5. Gempa El Centro



Gambar 6. Percepatan Tanah Puncak (SNI 1727-2013)

Berdasarkan Gambar 6 nilai PGA Pekanbaru digunakan sebesar 0,214 g. Berdasarkan SNI 1726-2012 untuk kelas situs SD dan nilai PGA 0,214 g maka didapatkan nilai FPGa sebesar 1,371. Sehingga untuk mendapat PGA_M digunakan persamaan,

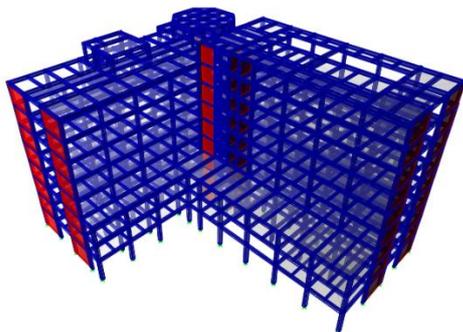
$$PGA_M = FPGa \times PGA$$

$$PGA_M = 1,371 \times 0,214$$

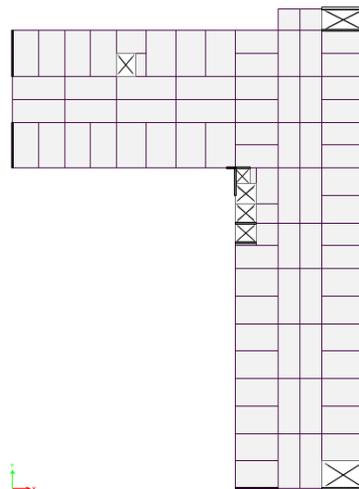
$$PGA_M = 0,293g$$

C.4 Pemodelan Gedung

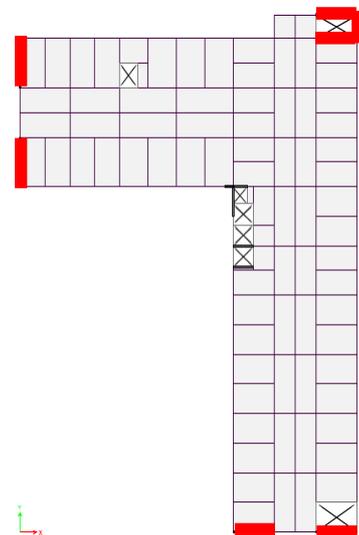
Gedung dimodelkan dan dianalisis menggunakan program berbasis elemen hingga seperti pada Gambar 6. Gedung yang dimodelkan adalah gedung tanpa *shear wall*, gedung *existing*, dan gedung modifikasi. Model modifikasi adalah model dengan penempatan posisi *shear wall* yang berbeda dari *existing* berdasarkan parameter eksentrisitas. Denah pemodelan gedung dapat dilihat pada Gambar 8 sampai Gambar 11.



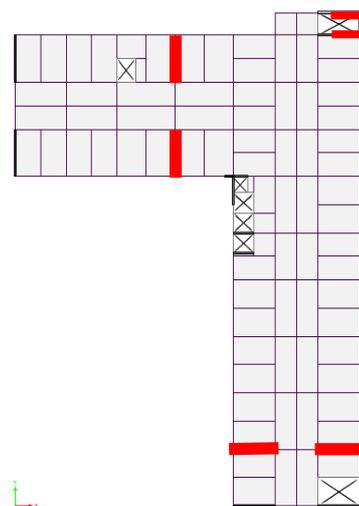
Gambar 7. Pemodelan 3D pada program berbasis elemen hingga



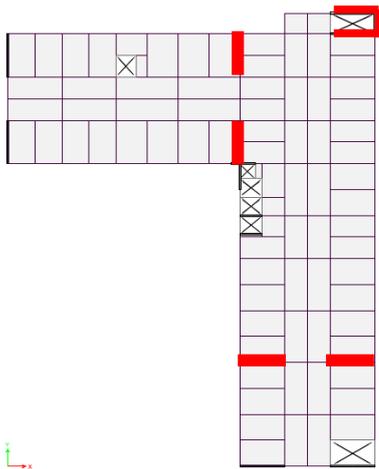
Gambar 8. Denah Gedung Tanpa *Shear Wall*



Gambar 9. Denah Gedung *Existing*



Gambar 10. Denah Gedung Modifikasi 1



Gambar 11. Denah Gedung Modifikasi 2

C.5 Tahapan Analisis

Analisis dilakukan dengan cara memodelkan struktur gedung ke dalam program berbasis elemen hingga berupa balok, kolom, pelat lantai dan *shear wall* sesuai data yang digunakan. Setelah pemodelan selesai maka selanjutnya dilakukan analisis dengan menggunakan beban gempa riwayat waktu sehingga didapatkan parameter periode fundamental dan respons struktur. Berikut penjelasan tahapan analisis dengan bantuan program elemen hingga :

1. Melakukan pemeriksaan volume *shear wall* terhadap model modifikasi. Volume *shear wall* pada model modifikasi harus sama besar nilainya dengan volume *shear wall* model *existing*.
2. Melakukan pemeriksaan eksentrisitas pada gedung modifikasi. Eksentrisitas pada gedung modifikasi harus lebih kecil daripada eksentrisitas gedung *existing*.
3. Melakukan analisis ragam (*modal analysis*) yang hanya dipengaruhi oleh berat sendiri struktur tanpa ada pengaruh gaya-gaya luar.
4. Melakukan evaluasi periode alami struktur yang diperoleh dari hasil analisis ragam sesuai dengan yang diisyaratkan SNI 1726-2012.
5. Mendefinisikan data beban gempa berupa riwayat waktu. Pada tahap ini diperlukan data akselogram gempa. Akselogram yang dianalisis merupakan rekaman gempa El Centro.
6. Mendefinisikan kombinasi-kombinasi pembebanan yang digunakan pada program sesuai SNI 1726-2013.

7. Melakukan analisis pada program berbasis elemen hingga terhadap beban yang telah dimasukkan.
8. Melakukan pemeriksaan terhadap ketidakberaturan gedung secara horizontal dan vertikal.
9. Hasil analisis yang dikeluarkan pada program elemen hingga berupa respons perpondahan.

D. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

D.1 Pemeriksaan Volume *Shear Wall*

Perhitungan volume *shear wall* dilakukan dengan perhitungan manual sesuai dengan data yang ada. Dari perhitungan didapat volume *shear wall* model modifikasi dan model *existing* adalah sama. Volume *shear wall* tiap gedung dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 4. Volume *Shear Wall*

Jenis Struktur	Volume (m ³)
Gedung <i>Existing</i>	496.062
Gedung Modifikasi 1	496.062
Gedung Modifikasi 2	496.062

Sumber: Perhitungan

D.2 Pembatasan Waktu Getar

Hasil analisa waktu getar alami yang didapatkan berdasarkan SNI 1726-2012 dibandingkan dengan waktu getar yang didapatkan dari analisa program bantu berbasis elemen hingga, perbandingannya dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Waktu Getar

Jenis Struktur	Waktu Getar (detik)	
	SNI	Program Bantu
Gedung Tanpa <i>Shear wall</i>	2.043	3,102
Gedung <i>Existing</i>	2.139	2,087
Gedung Modifikasi 1	2.139	2,011
Gedung Modifikasi 2	2.139	1.756

Sumber: Perhitungan

Dari Tabel 5 diketahui bahwa waktu getar alami fundamental pada gedung tanpa *shear wall* melampaui waktu getar alami *fundamental* maksimal berdasarkan SNI 1726-2012. Dengan kata lain struktur masih terlalu

flesibel. Sedangkan waktu getar alami *fundamental* pada gedung dengan *shear wall existing*, modifikasi 1 dan modifikasi 2 sudah memenuhi nilai yang telah ditetapkan oleh SNI 1726-2012.

D.3 Ketidakberaturan Gedung

Gedung dengan ketidakberaturan torsi ditentukan berdasarkan δ_{max} dan δ_{avg} . Pemeriksaan ketidakberaturan torsi dapat dilihat pada Tabel 6 sampai Tabel 9.

Tabel 6. Ketidakberaturan Torsi pada Gedung Tanpa *Shear Wall*

Sumbu	d max	1.2 d avg	1.4 d avg
Arah X	256.32	303.00	353.50
Arah Y	231.99	253.60	295.87

Sumber: Perhitungan

Tabel 7. Ketidakberaturan Torsi pada Gedung *Existing*

Sumbu	d max	1.2 d avg	1.4 d avg
arah X	126.24	134.77	157.23
arah Y	177.92	171.09	199.60

Sumber: Perhitungan

Tabel 8. Ketidakberaturan Torsi pada Gedung Modifikasi 1

Sumbu	d max	1.2 d avg	1.4 d avg
arah X	118.8	132.10	154.11
arah Y	171.78	166.67	194.45

Sumber: Perhitungan

Tabel 9. Ketidakberaturan Torsi pada Gedung Modifikasi 2

Sumbu	d max	1.2 d avg	1.4 d avg
arah X	93.4	110.52	128.94
arah Y	92.8	107.58	125.51

Sumber: Perhitungan

Berdasarkan Tabel 6 sampai Tabel 9 dapat disimpulkan bahwa gedung dengan *shear wall existing* dan modifikasi 1 adalah gedung ketidakberaturan torsi tipe 1A menurut SNI 1726-2012 karena nilai d max lebih besar dari 1,2 d avg.

Pemeriksaan ketidakberaturan sudut dalam dilakukan dengan cara menghitung perbandingan sudut dalam gedung. Pemeriksaan ketidakberaturan sudut dalam dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Ketidakberaturan Sudut Dalam

Lantai	Px (m)	Lx (m)	Py (m)	Ly (m)	Px/Lx (%)	Py/Ly (%)
8	30.8	48.8	44.88	62.88	63.11	71.37
7	30.8	48.8	44.88	62.88	63.11	71.37
6	30.8	48.8	44.88	62.88	63.11	71.37
5	30.8	48.8	44.88	62.88	63.11	71.37
4	30.8	48.8	44.88	62.88	63.11	71.37
3	22.6	48.8	41.28	62.88	46.31	65.65
2	22.6	48.8	41.28	62.88	46.31	65.65
1	22.6	48.8	41.28	62.88	46.31	65.65

Sumber: Perhitungan

Dari tabel 10 dapat disimpulkan bahwa gedung didefinisikan tidak beraturan sudut dalam menurut SNI 1726-2012 karena persentase sudut dalamnya melebihi 15%.

Pemeriksaan ketidakberaturan diskontinuitas diafragma dilakukan dengan cara menghitung luas lantai gedung. Pemeriksaan ketidakberaturan diskontinuitas dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Ketidakberaturan Diskontinuitas

Tingkat	Luas Lantai (m ²)	Persentase (%)
Lantai 8	1668.96	0.00
Lantai 7	1668.96	0.00
Lantai 6	1668.96	0.00
Lantai 5	1668.96	0.00
Lantai 4	1668.96	20.33
Lantai 3	2094.72	0.00
Lantai 2	2094.72	12.71
Lantai 1	1858.56	-

Sumber: Perhitungan

Berdasarkan Tabel 11 persentase perbandingan antara luas lantai dengan luas lantai atasnya dibawah 50%, maka gedung didefinisikan tanpa ketidakberaturan diskontinuitas diafragma.

Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral. Pada *shear wall* tiap model tidak ditemukan adanya pergeseran melintang terhadap bidang. Sesuai SNI 1726-2012 gedung didefinisikan tanpa ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang.

Ketidakteraturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan gaya gempa. Model gedung yang dibuat pada penelitian menggunakan *shear wall* sebagai elemen penahan lateral. Pada *shear wall* tidak ditemukan bentuk tidak paralel terhadap sumbu-sumbu orthogonal. Sesuai SNI

1726-2012 gedung pada tiap model didefinisikan tanpa ketidakteraturan sistem nonparalel.

Pemeriksaan ketidakteraturan tingkat lunak dilakukan dengan cara menghitung kekakuan lateral tiap lantai. Perhitungan ketidakteraturan tingkat lunak dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak

Tingkat	Σk_{ix} (kg/mm)	Σk_{iy} (kg/mm)	%Kix ₊₁ (kg/mm)	%Kiy ₊₁ (kg/mm)	%Kix ₊₃ (kg/mm)	%Kiy ₊₃ (kg/mm)	%Kix ₋₁ (kg/mm)	%Kiy ₋₁ (kg/mm)	%Kix ₋₃ (kg/mm)	%Kiy ₋₃ (kg/mm)
Lantai 1	8137559.95	743750.00	70.23	70.23	70.37	72.00	-	-	-	-
Lantai 2	11586486.73	1058972.17	100.00	100.00	100.43	106.04	142.38	142.38	142.38	142.38
Lantai 3	11586486.73	1058972.17	100.61	107.96	100.69	109.93	100.00	100.00	117.49	117.49
Lantai 4	11516506.84	980917.68	100.07	102.61	100.17	102.86	99.40	92.63	110.34	102.83
Lantai 5	11508368.91	955965.58	100.09	100.31	100.23	100.26	99.93	97.46	99.53	92.55
Lantai 6	11498093.58	953004.89	100.11	100.11	100.21	99.93	99.91	99.69	99.66	95.43
Lantai 7	11485870.85	951991.61	100.20	99.64	100.20	99.64	99.89	99.89	99.81	98.83
Lantai 8	11463198.64	955395.60	-	-	-	-	99.80	100.36	99.70	100.18

Sumber: Perhitungan

Berdasarkan Tabel 12 nilai %Kix₊₁, %Kiy₊₁, %Kix₊₃, %Kiy₊₃, lebih besar dari 70% artinya gedung didefinisikan ketidakteraturan tingkat lunak

Pemeriksaan ketidakteraturan berat (Massa) dilakukan dengan cara menghitung berat gedung per lantai. Pemeriksaan gedung dengan ketidakteraturan massa dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Ketidakteraturan Berat (Massa)

Lantai	W (kg)	%W ₊₁
Lantai 8	1349428.750	-
Lantai 7	1351581.630	100.160
Lantai 6	1353744.120	100.160
Lantai 5	1355839.340	100.155
Lantai 4	1359424.270	100.264
Lantai 3	1496898.735	110.113
Lantai 2	1634373.200	109.184
Lantai 1	1704087.160	104.265

Sumber: Perhitungan

Berdasarkan Tabel 13 didapat nilai %W₊₁ lebih kecil dari 150%. Sesuai SNI 1726-2012 gedung didefinisikan tanpa ketidakteraturan berat (massa)

Ketidakteraturan geometri vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem

penahan gaya gempa di semua tingkat lebih dari 130 persen dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya. Sistem penahan gaya gempa yang dipakai pada gedung adalah *shear wall*. Pada *shear wall* tidak ditemukan perubahan dimensi. Sesuai SNI-1726 gedung didefinisikan tanpa ketidakteraturan geometri vertikal.

Diskontinuitas arah bidang dalam ketidakteraturan elemen penahan gaya lateral vertikal didefinisikan ada jika pegeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya.

Sistem penahan gaya gempa yang dipakai pada gedung adalah *shear wall*. Pada *shear wall* tidak ditemukan diskontinuitas arah bidang. Sesuai SNI 1726-2012 gedung didefinisikan tanpa diskontinuitas arah bidang dalam ketidakteraturan elemen penahan gaya lateral vertikal.

Pemeriksaan diskontinuitas dalam ketidakteraturan kuat lateral tingkat dilakukan dengan cara menghitung gaya lateral tiap lantai. Pemeriksaan diskontinuitas dalam ketidakteraturan kuat lateral tingkat pada gedung dapat dilihat pada Tabel 14 sampai Tabel 16.

Tabel 14. Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat pada Gedung Existing

Tingkat	V (kN)		% V ₊₁ (kN)	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Lantai 8	6120.43	7379.46	-	-
Lantai 7	9512.15	11501.57	64.34	64.16
Lantai 6	11834.58	14290.19	80.38	80.49
Lantai 5	13871.12	16655.20	85.32	85.80
Lantai 4	15400.50	18188.11	90.07	91.57
Lantai 3	17085.38	19519.41	90.14	93.18
Lantai 2	18079.45	20641.46	94.50	94.56
Lantai 1	18399.32	21447.16	98.26	96.24

Sumber: Perhitungan

Tabel 15. Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat pada Gedung Modifikasi 1

Tingkat	V (kN)		% V ₊₁ (kN)	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Lantai 8	6402.94	7128.26	-	-
Lantai 7	9684.28	10875.25	66.12	65.55
Lantai 6	11928.09	13209.90	81.19	82.33
Lantai 5	13328.16	14247.63	89.50	92.72
Lantai 4	14679.69	15432.76	90.79	92.32
Lantai 3	16417.23	16829.72	89.42	91.70
Lantai 2	17464.91	17704.80	94.00	95.06
Lantai 1	18889.74	19243.81	92.46	92.00

Sumber: Perhitungan

Tabel 16. Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat pada Gedung Modifikasi 2

Tingkat	V (kN)		% V ₊₁ (kN)	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Lantai 8	6228.93	6859.32	-	-
Lantai 7	9583.63	11796.51	65.00	68.15
Lantai 6	11788.15	13650.45	81.30	86.42
Lantai 5	13530.13	15778.85	87.13	86.51
Lantai 4	14946.42	18031.71	90.52	87.51
Lantai 3	16631.97	20155.01	89.87	89.47
Lantai 2	17633.48	21976.47	94.32	91.71
Lantai 1	18088.87	23234.23	97.48	94.59

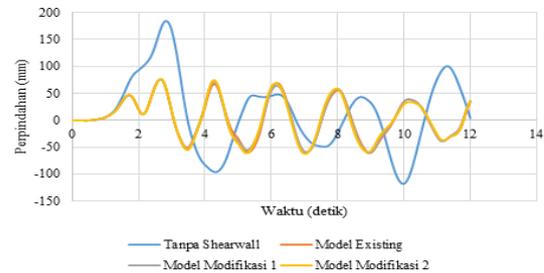
Sumber: Perhitungan

Dari pemeriksaan terhadap ketidakberaturan kuat lateral tingkat, model gedung yang ada pada penelitian didefinisikan sebagai gedung dengan ketidakberaturan lateral tingkat.

D.4 Respons Dinamik Perpindahan

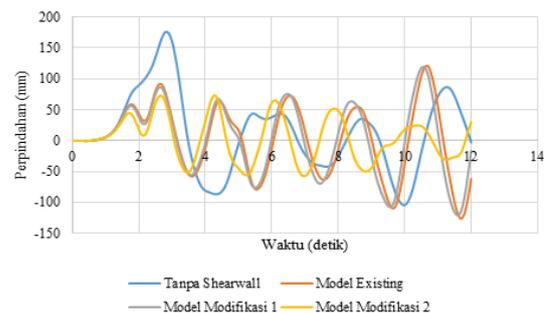
Gedung dianalisis menggunakan beban gempa riwayat waktu akselerogram El Centro. Analisis menghasilkan respons dinamik pada struktur berupa perpindahan, kecepatan, dan percepatan. Respons dinamik perpindahan

dibagi menjadi dua yaitu respons terhadap arah sumbu X dan sumbu Y. Untuk Respons dinamik terhadap arah X dapat dilihat pada Gambar 12. Untuk Respons dinamik terhadap arah Y dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 12. Respons Perpindahan Arah X

Gambar 12 menjelaskan respons perpindahan per waktu untuk tiap model. Respons perpindahan minimum arah X pada gedung tanpa *shear wall* sebesar 118,1 mm; gedung *existing* sebesar 62,6 mm; gedung modifikasi sebesar 60,4 mm dan gedung modifikasi 2 sebesar 60,2 mm.

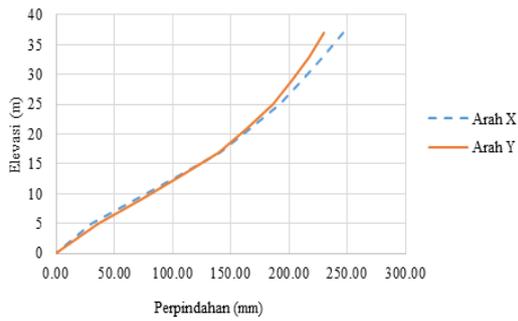


Gambar 13. Respons Perpindahan Arah Y

Gambar 13 menjelaskan respons perpindahan per waktu untuk tiap model. Respons perpindahan minimum arah Y pada gedung tanpa *shear wall* sebesar 104,4 mm; gedung *existing* sebesar 126,3 mm; gedung modifikasi sebesar 120,9 mm dan gedung modifikasi 2 sebesar 57,4 mm.

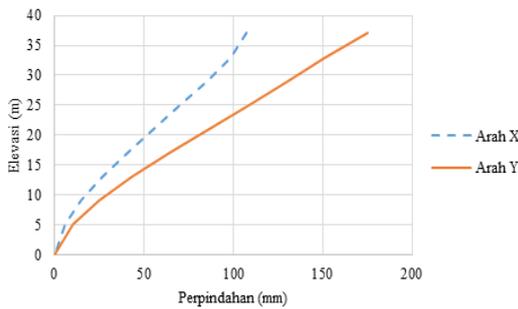
D.5 Perpindahan dan Simpangan Antar Lantai

Dari hasil analisis struktur yang dilakukan dengan bantuan program berbasis elemen hingga diperoleh perpindahan dan simpangan antar lantai (Δ) terbesar akibat kombinasi pembebanan maksimum. Perpindahan dapat dilihat pada Gambar 14 sampai Gambar 17. Simpangan antar lantai (Δ) dapat dilihat pada Gambar 18 sampai Gambar 21.

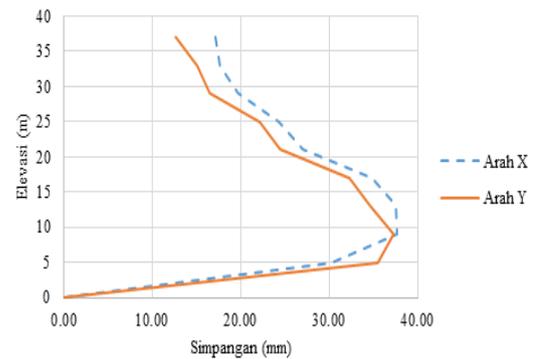


Gambar 14. Perpindahan pada Gedung Tanpa *Shear wall*

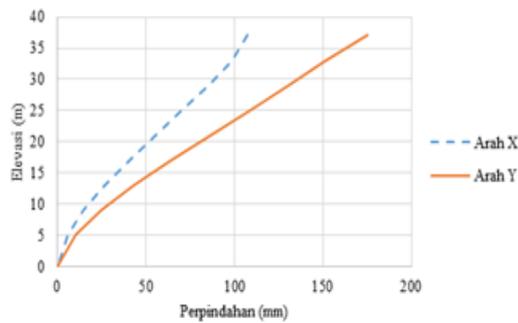
Berdasarkan Gambar 14 sampai Gambar 17, didapat perpindahan maksimum arah sumbu X pada gedung tanpa *shear wall* sebesar 246,01 mm; pada gedung *existing* sebesar 114,1 mm; pada gedung modifikasi 1 sebesar 107,24 dan pada gedung modifikasi 2 sebesar 102,07 mm. Perpindahan maksimum arah sumbu y pada gedung tanpa *shear wall* sebesar 230,37 mm; pada gedung *existing* sebesar 169,7 mm; pada gedung modifikasi 1 sebesar 156,5 mm dan pada gedung modifikasi 2 sebesar 97,7 mm.



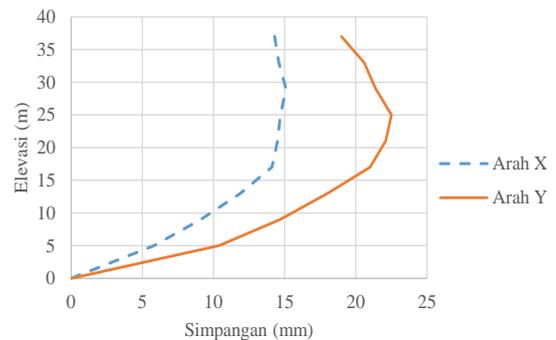
Gambar 15. Perpindahan pada Gedung *Existing*



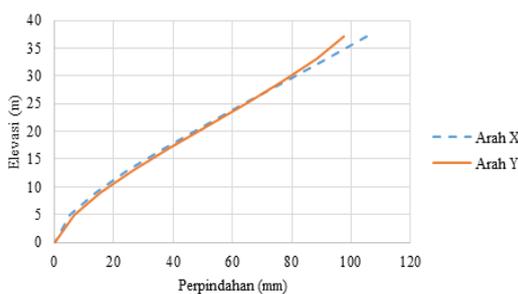
Gambar 18. Simpangan Antar Lantai pada Gedung Tanpa *Shear Wall*



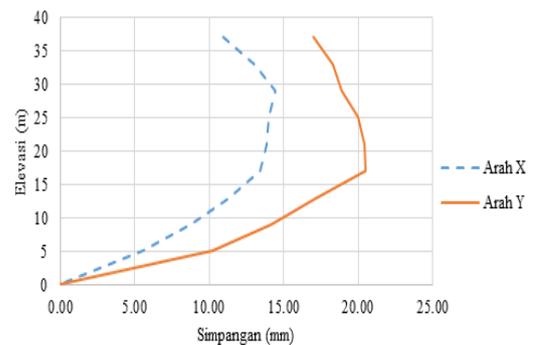
Gambar 16. Perpindahan pada Gedung Modifikasi 1



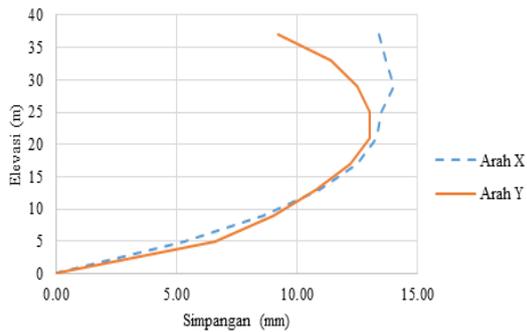
Gambar 19. Simpangan Antar Lantai pada Gedung *Existing*



Gambar 17. Perpindahan pada Gedung Modifikasi 2



Gambar 20. Simpangan Antar Lantai pada Modifikasi 1



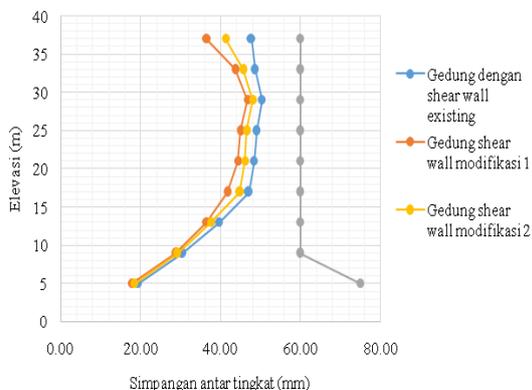
Gambar 21. Simpangan Antar Lantai pada Modifikasi 2

Gambar 16 sampai Gambar 19 menjelaskan simpangan antar lantai pada tiap model gedung. Dapat dilihat simpangan pada gedung tanpa *shear wall* memiliki simpangan yang besar pada bagian bawah gedung. Sedangkan gedung dengan *shear wall* memiliki simpangan terbesar berada pada bagian atas gedung.

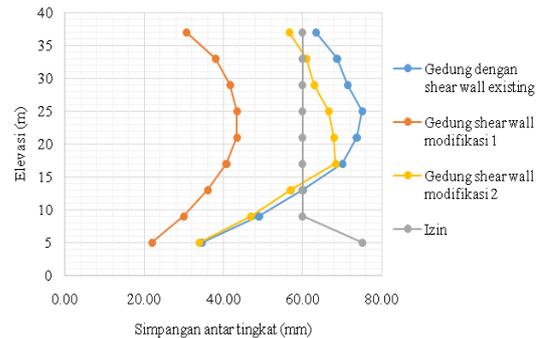
D.6 Batas Kinerja Ultimit

Berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 7.8.6, simpangan antar lantai telah dibatasi oleh nilai simpangan izin. Kinerja batas ultimit struktur gedung ditentukan oleh simpangan dan simpangan antar-tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana dalam kondisi struktur gedung di ambang keruntuhan. Kontrol kondisi kinerja ultimit arah X dapat dilihat pada Gambar 20. Kontrol kondisi kinerja ultimit arah Y dapat dilihat pada Gambar 21.

Dari Gambar 20 dapat dilihat bahwa simpangan antar lantai arah X tiap model gedung sudah memenuhi simpangan izin yang telah ditetapkan oleh SNI 1726-2012.



Gambar 22. Kontrol Kondisi Batas Kinerja Ultimit Arah X



Gambar 23. Kontrol Kondisi Batas Kinerja Ultimit Arah Y

Dari Gambar 21 dapat dilihat bahwa simpangan antar lantai arah Y tiap model. Untuk simpangan antar lantai gedung modifikasi 2 sudah memenuhi dari simpangan izin. Untuk simpangan antar lantai gedung *existing* dan modifikasi 1 terdapat beberapa lantai yang belum memenuhi simpangan izin.

E. KESIMPULAN

Setelah dilakukan kajian terhadap posisi *shear wall* pada gedung tidak beraturan dengan analisis riwayat waktu beban gempa didapat kesimpulan

1. Berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 10 mengenai ketidakberaturan horizontal, gedung *existing* dan gedung modifikasi 1 didefinisikan sebagai gedung tidak beraturan torsi dan ketidakberaturan sudut dalam. Sedangkan gedung tanpa *shear wall* dan modifikasi 2 didefinisikan hanya sebagai gedung tidak beraturan sudut dalam.
2. Berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 11 mengenai ketidakberaturan vertikal, gedung *existing*, gedung modifikasi 1 dan modifikasi 2 didefinisikan sebagai gedung tidak beraturan kekakuan tingkat lunak dan diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat.
3. Berdasarkan analisis program berbasis elemen hingga, didapat nilai eksentrisitas rata-rata tiap lantai tiap gedung, dengan rincian sebagai berikut
 - a. Gedung tanpa *shear wall* untuk arah X dan Y sebesar 2,92 m dan 0,48 m
 - b. Gedung *existing* untuk arah X dan arah Y sebesar 11,51 m dan 5,01 m

- c. Gedung modifikasi 1 untuk arah X dan Y sebesar 6,04 m dan 2,74 m
 - d. Gedung modifikasi 2 untuk arah X dan Y sebesar 0,12 m dan 0,49 m
4. Berdasarkan analisis program berbasis elemen hingga, didapat nilai waktu getar alami fundamental tiap gedung, dengan rincian sebagai berikut :
 - a. Gedung tanpa *shear wall* sebesar 3,102 detik.
 - b. Gedung *existing* sebesar 2,087 detik.
 - c. Gedung modifikasi 1 sebesar 2,011 detik
 - d. Gedung modifikasi 2 sebesar 1,756 detik.
 5. Berdasarkan analisis program berbasis elemen hingga, didapat nilai perpindahan maksimum pada kombinasi maksimum dengan rincian sebagai berikut :
 - a. Gedung tanpa *shear wall* untuk arah X dan Y sebesar 246,01 mm dan 230,37 mm
 - b. Gedung *existing* untuk arah X dan Y sebesar 114,1 mm dan 196,7 mm
 - c. Gedung modifikasi 1 untuk arah X dan Y sebesar 107,24 mm dan 156,56 mm
 - d. Gedung modifikasi 2 untuk arah X dan arah Y sebesar 102,07 mm dan 97,7 mm
 6. Berdasarkan analisis program berbasis elemen hingga, didapat nilai simpangan antar lantai maksimum pada kombinasi maksimum dengan rincian sebagai berikut :
 - a. Gedung tanpa *shear wall* untuk arah X dan Y sebesar 37,63 mm dan 37,31 mm
 - b. Gedung *existing* untuk arah X dan Y sebesar 15,1 mm dan 22,5 mm
 - c. Gedung modifikasi 1 untuk arah X dan arah Y sebesar 14,41 mm dan 20,5 mm
 - d. Gedung modifikasi 2 untuk arah X dan arah Y sebesar 14,00 mm dan 13,00 mm
 7. Berdasarkan analisis kondisi kinerja batas ultimit SNI 1726-2012, didapat hasil sebagai berikut:
 - a. Gedung tanpa *shear wall* untuk arah X belum memenuhi batasan izin di semua lantai. Sedangkan untuk arah Y belum memenuhi batasan izin sebesar 78%.
 - b. Gedung *existing* untuk arah X memenuhi batasan izin disemua lantai. Sedangkan untuk arah Y belum memenuhi batasan izin sebesar 67%.

- c. Gedung modifikasi 1 untuk arah X memenuhi batasan izin disemua lantai. Sedangkan untuk arah Y belum memenuhi batasan izin sebesar 56%.
 - d. Gedung modifikasi 2 untuk arah X dan Y memenuhi batasan izin disemua lantai.
8. Berdasarkan parameter perpindahan, simpangan antar lantai dan batas kinerja ultimit, gedung dengan penempatan posisi *shear wall* yang efektif menahan gaya gempa adalah model gedung pada modifikasi 2.

F. SARAN

1. Sebaiknya dalam perencanaan gedung, khususnya gedung tidak beraturan perlu ditinjau nilai eksentrisitas pada gedung agar tidak terjadi perbesaran respons perpindahan yang diakibatkan oleh torsi.
2. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut dengan menggunakan analisis nonlinier untuk mengetahui letak sendi plastis sehingga pola keruntuhan bisa diketahui.

G. DAFTAR PUSTAKA

- Ananda, F. (2014). Perencanaan Penulangan Dinding Geser (*Shear wall*) Berdasarkan Tata Cara SNI 03-2847-2002. *Jurnal Teknik Sipil USU*, 3(1).
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 1726-2012: tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
- 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.
- Bahtera, E. (2010). *Analisis perbandingan simpangan horizontal gedung bertingkat tinggi pada shear wall diagonal dengan shear wall searah sumbu x-sumbu y*. uns.
- Matahari Tarigan, & Teruna, D. R. (2013). Perbandingan Respons Struktur Beraturan Dan Ketidakberaturan Horizontal Sudut Dalam Akibat Gempa Dengan Menggunakan Analisis Statik

- Ekivalen dan Time History. *Jurnal Teknik Sipil USU*.
- Park, R dan T. Paulay. 1974. *Reinforced Concrete Structure*. New Zealand :John Wiley and Son.
- Paz, M. (1985). *Dinamika Struktur: Teori & Perhitungan Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga.
- Purba, H. (2014). Analisis Kinerja Struktur Pada Bangunan Bertingkat Beraturan Dan Ketidakberaturan Horizontal Sesuai SNI 03-1726-2012. *jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 3.
- Wibowo, A. S. (2011). *Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat Tidak Beraturan dengan Analisis Dinamik Menggunakan Metode Analisis Riwayat Waktu*. Universitas Sebelas Maret.
- Widodo, T., Pah, J. J., & Ninggeding, A. Y. (2013). Analisa Perbandingan Dinding Geser Yang Simetris Dan Tidak Simetris. *Jurnal Teknik Sipil*, 2(1), 87-92.
- Wight, J. K., & MacGregor, J. G. (2012). *Reinforced Concrete Mechanics & Design*. United States of America: Pearson Education, Inc.