

Analisis Kinerja Ketidakberaturan Struktur Gedung Akibat Gempa Dengan Menggunakan Analisis Statik Ekuivalen Dan *Time History* (Studi Kasus : Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela)

Thobyhend J. M. Sahureka¹, Vector Johannes², Marcheylla I. Metubun³

^{1,2}Staf Pengajar Universitas Kristen Indonesia Maluku, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil

Gmail : thobyhensahureka25@gmail.com , vectorjohannes2020@gmail.com

³Mahasiswa Universitas Kristen Indonesia Maluku, Jalan OT Pattimaipauw Talake - Ambon

Gmail : marcheyllaimm14@gmail.com

Abstract

Multi-storey building structures that have irregularities are very vulnerable to earthquakes, so it is necessary to analyze the impact of earthquake loads on the structure's capabilities and irregularities in accordance with applicable regulations. The aim of this research is to determine the performance of building structural irregularities due to earthquakes using equivalent static analysis, to determine the performance of building structural irregularities due to earthquakes using time history analysis and to compare structural performance using these two methods. The data collection method used is a secondary data collection method in the form of structural plans, structural data such as dimensions of structural elements, concrete quality, steel quality and soil data and analyzed using the equivalent static analysis method and the time history method. The calculation process uses the SAP2000 v.22 software program. Reviewed using equivalent static analysis, the maximum displacement value due to the earthquake was 69,951 mm (x-direction) and 62,743 mm (y-direction). The maximum deviation ratio value between floors is 2.186% (x-direction) and 1.979% (y-direction). Meanwhile, if viewed using time history analysis, the maximum displacement value due to the earthquake was 16,437 mm (x-direction) and 27,899 mm (y-direction). The maximum deviation ratio value between floors is 0.540% (x-direction) and 0.927% (y-direction). From the results of reviewing the displacement values and deviations between floors using these two methods, it shows that structural analysis using the time history method is more realistic than equivalent static analysis.

Keywords: Structure performance, Structure building irregularities, Equivalent static, Time history

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang terletak dalam wilayah gempa yang berintensitas tinggi, oleh karena itu maka perencanaan struktur bangunan gedung tahan gempa sangatlah penting. Bangunan dengan bentuk beraturan, sederhana, dan simetris akan berperilaku lebih baik terhadap gempa dibandingkan dengan bangunan yang tidak beraturan (Pauly dan Priestley, 1992). Dengan demikian maka struktur gedung bertingkat yang memiliki ketidakberaturan akan sangat rentan terhadap gempa bumi.

Sebagai ibukota provinsi pembangunan di Kota Ambon mengalami peningkatan dimana banyak ditemui bangunan bertingkat yang digunakan untuk perkantoran, rumah sakit, hotel, serta sarana pendidikan. Bangunan-bangunan tersebut tentunya memiliki struktur ketidakberaturan, baik ketidakberaturan horizontal maupun vertikal. Salah satu gedung yang memiliki ketidakberaturan horizontal yaitu Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela sebagai sarana penunjang pendidikan di Universitas Pattimura.

Dengan demikian maka perlu dilakukan analisis dampak beban gempa terhadap kemampuan struktur dan ketidakberaturannya sesuai dengan

peraturan yang berlaku. Dimana dalam menganalisis pengaruh gempa terhadap sebuah bangunan, terdapat 2 macam metode analisis yang digunakan yaitu metode statik dan dinamis. Metode analisis statik yaitu analisis statik ekuivalen. Sementara metode analisis dinamik terdiri dari analisis respons spektrum (*Spectrum Responses Analysis*) dan analisis riwayat waktu (*Time History Analysis*).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja ketidakberaturan struktur gedung akibat gempa dengan menggunakan analisis statik ekuivalen dan *time history* serta membandingkan kinerja ketidakberaturan struktur gedung akibat gempa dengan menggunakan kedua analisis tersebut. Berdasarkan latar belakang tersebut maka dilakukan Analisis Kinerja Ketidakberaturan Struktur Gedung Akibat Gempa Dengan Menggunakan Analisis Statik Ekuivalen Dan *Time History* (Studi Kasus : Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela).

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Gambaran Umum Gempa

Gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena pelapasan energi secara tiba-tiba akibat dari pecah/slipnya massa batuan di lapisan kerak bumi. Energi tersebut terakumulasi pada waktu yang

lama kemudian terlepas dan merambat ke segala arah sampai ke permukaan tanah (Pawirodikromo, 2012).

Gempa akan menimbulkan getaran/goyangan pada tanah ke segala arah dan menggetarkan bangunan yang berdiri di atas tanah tersebut.

2.2. Konsep Bangunan Tahan Gempa

Bangunan tahan gempa adalah bangunan yang tidak runtuh secara signifikan apabila terjadi gempa. Dengan demikian maka struktur bangunan harus tahan gempa sehingga dapat mengurangi resiko tertekan yang akan menyebabkan terjadinya kegagalan atau keruntuhan struktur bangunan. Konsep bangunan tahan gempa sendiri akan dapat berfungsi dengan baik apabila pembangunan direncanakan dan dilaksanakan sesuai dengan persyaratan yang berlaku. Semua elemen bangunan tersambung dengan baik dan benar serta konstruksi pembangunan diawasi dan dikontrol dengan kualitas yang ketat.

2.3. Pembebanan Struktur

1. Beban Mati (*Dead Load*)

Menurut peraturan pembebanan SNI 1727-2020 pasal 3.1.1 beban mati merupakan berat semua beban konstruksi bangunan yang terpasang atau lebih jelasnya berat sendiri dari struktur (balok, kolom, plat lantai, dan sebagainya).

2. Beban Hidup (*Live Load*)

Peraturan pembebanan SNI 1727-2020 pasal 4.1 menyatakan bahwa beban hidup merupakan beban yang dipengaruhi oleh pemakai bangunan atau beban mati lain yang berpindah tempat dan tidak terhitung beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir atau beban mati.

3. Beban Gempa (*Quake Load*)

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang terkena dampak atau efek gerakan tanah akibat gempa.

2.4. Persyaratan Perencanaan Ketahanan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019

1. Gempa Rencana

Menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Dalam SNI 1726-2019, gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen.

2. Kategori Risiko Struktur Bangunan dan Faktor Keutamaan

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai tabel pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e .

3. Kategori Desain Sesimik

Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainya, S_{DS} dan S_{D1} .

4. Pemilihan Sistem Struktur Penahan Gaya Seismik

Untuk pemilihan sistem struktur penahan gaya seismik berdasarkan SNI 1726:2019 ditentukan oleh parameter berikut ini : faktor koefisien modifikasi respon (R), faktor kuat lebih sistem (C_d), faktor pembesaran defleksi (Ω_0), faktor batasan tinggi struktur.

5. Periode Fundamental Pendekatan

Periode adalah besaran waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suatu getaran. Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.2, ada dua nilai batas untuk periode bangunan, yaitu nilai minimum periode bangunan (T_a minimum) dan nilai maksimum periode bangunan (T_a maksimum).

Nilai minimum periode bangunan (T_a minimum) ditentukan oleh rumus :

$$T_{a \text{ minimum}} = C_t \cdot h_n^x \quad (1)$$

Nilai maksimum periode bangunan ditentukan oleh rumus :

$$T_{a \text{ maksimum}} = C_u \cdot T_{a \text{ minimum}} \quad (2)$$

6. Perhitungan Koefisien Respon Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.1.1 Perhitungan koefisien respon seismik (C_s) harus ditentukan dengan rumus :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} \quad (3)$$

Nilai C_s yang dihitung pada persamaan di atas tidak perlu melebihi nilai berikut ini :

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T(\frac{R}{I_e})} \quad (4)$$

Nilai C_s yang dihitung tidak kurang dari nilai berikut:

$$C_s = 0.044 S_{DS} I_e \geq 0.01 \quad (5)$$

Sebagai tambahan untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0.6 g maka C_s harus tidak kurang dari :

$$C_s = \frac{0.5 S_1}{\frac{R}{I_e}} \quad (6)$$

Dimana :

- S_{D1} = Parameter percepatan respons spektral desain pada periode 1 detik
- R = Faktor modifikasi respons
- T = Periode getar fundamental struktur

7. Respon Spektra

Respon spektra adalah konsep pendekatan yang digunakan untuk keperluan perencanaan bangunan. Berdasarkan SNI 1726:2019, respon spektra desain harus di tentukan dan dibuat terlebih dahulu berdasarkan data-data yang ada, seperti Parameter percepatan batuan dasar, Parameter kelas situs, Koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter respon spektra percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertaget, (MCER) dan Parameter percepatan spectra. Parameter percepatan spektra desain untuk periode pendek 1 detik (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) harus ditentukan melalui perumusan berikut ini :

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} S_{MS} \\ S_{D1} &= \frac{2}{3} S_{M1} \\ T_s &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\ T_0 &= 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \end{aligned} \quad (7)$$

Prosedur pembuatan respon spektra desain berdasarkan SNI 1726:2019 untuk periode yang lebih kecil dari T_0 spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}) \quad (8)$$

Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , respon spektrum desain, S_a , sama dengan S_{DS} . Untuk periode lebih besar dari T_s , respon spektrum percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (9)$$

Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (10)$$

Dimana :

S_{DS} = Parameter respon spektra percepatan desain pada periode pendek

S_{D1} = Parameter respon spektra percepatan desain pada periode 1 detik

T = Periode getar fundamental struktur

Untuk nilai T_0 dan T_s dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (11)$$

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (12)$$

8. Simpangan Antar Lantai

Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diijinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Defleksi pusat massa

di tingkat-x δ_x (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan:

$$\delta_x = C_d \cdot \delta_{xe} / I_e \quad (13)$$

Dimana :

C_d = Faktor pembesaran defleksi

δ_{xe} = Defleksi pada lokasi yang diisyaratkan dan ditentukan sesuai dengan analisis elastis

I_e = Faktor keutamaan

9. Kombinasi Beban Gempa

Struktur, komponen-elemen struktur dan elemen-elemen fondasi harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai berikut:

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$
4. $1,2D + 1,0W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
5. $0,9D + 1,0W$
6. $1,2D + E_v + E_h + L$
7. $0,9D - E_v + E_h$

Dimana :

E = Pengaruh beban gempa

E_h = Pengaruh beban gempa horizontal

E_v = Pengaruh beban gempa vertikal

Pengaruh beban gempa horisontal, E_h , harus ditentukan sesuai dengan persamaan sebagai berikut:

$$E_h = \rho Q E \quad (14)$$

Keterangan :

Q = Pengaruh gaya gempa horisontal dari V atau F_p ; jika diisyaratkan pengaruh tersebut harus dihasilkan dari penerapan gaya horizontal secara serentak dalam dua arah tegak lurus satu sama lain

ρ = Faktor redudansi beban gempa vertikal
Sementara faktor redudansi beban gempa vertikal, E_v harus ditentukan sesuai dengan persamaan :

$$E_v = 0,2 S_{DS} D \quad (15)$$

Keterangan :

S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respon desain pada periode pendek

D = Pengaruh beban mati

2.5. Analisis Statik Ekuivalen

1. Gaya Geser Dasar Seismik (V)

Geser dasar seismik, V dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s W \quad (16)$$

Keterangan: C_s adalah koefisien respons seismik;

W adalah berat seismik efektif.(berat total gedung)

2. Distribusi Gaya Horizontal Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2019, gaya geser dasar di semua tingkat harus di tentukan dari persamaan :

$$V_x = \sum_{i=x}^n \frac{F_i}{F_i} \quad (17)$$

Dimana :

F_i = Bagian dari geser dasar seismik (V) pada tingkat ke- i (kN)

2.6. Analisis Time History (Analisis Riwayat Waktu)

Menurut SNI 1726:2019 pasal 11.1 analisis respons riwayat waktu dapat digunakan sesuai dengan persyaratan yang ada di pasal ini untuk menunjukkan kekuatan, kekakuan, dan daktilitas dalam menahan guncangan gempa maksimum (MCER) dengan kinerja yang dapat diterima.

2.7. Ketidakberaturan Horizontal

Pada penelitian ini struktur yang akan ditinjau adalah struktur yang tidak beraturan. Menurut SNI 1726:2019 pasal 7.3.2.1 struktur bangunan gedung yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan harus dianggap mempunyai ketidakberaturan horizontal.

2.8. Ketidakberaturan Vertikal

Menurut SNI 1726:2019 pasal 7.3.2.2 struktur bangunan gedung yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan harus dianggap mempunyai ketidakberaturan vertikal.

2.9. Eksentrisitas Pusat Massa Terhadap Pusat Rotasi Lantai Tingkat

Pusat massa pada lantai tingkat suatu struktur gedung adalah titik tangkap resultan beban mati, beban hidup yang sesuai yang bekerja pada lantai tingkat itu. Sementara pusat rotasi lantai tingkat suatu struktur gedung adalah suatu titik pada lantai tingkat itu yang bila suatu beban horisontal bekerja padanya, lantai tingkat tersebut tidak berotasi, tetapi hanya bertranslasi, sedangkan lantai-lantai tingkat lainnya yang tidak mengalami beban horisontal semuanya berotasi dan bertranslasi. Apabila ukuran horisontal terbesar denah struktur gedung pada lantai tingkat itu, diukur tegak lurus pada arah pembebanan gempa, dinyatakan dengan b , maka eksentrisitas rencana e_d harus ditentukan sebagai berikut :

$$\text{Untuk } 0 < e < 0,3 b \\ e_d = 1,5 e + 0,05 b \quad (18)$$

$$\text{atau} \\ e_d = e - 0,05 b \quad (19)$$

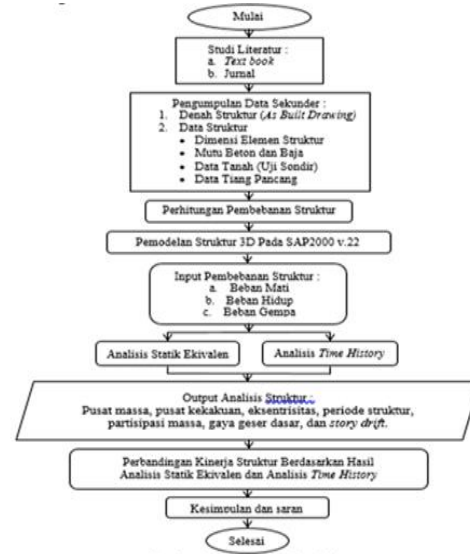
dan dipilih di antara keduanya yang pengaruhnya paling menentukan untuk unsur atau subsistem struktur gedung yang ditinjau.

$$\text{Untuk } e > 0,3 b : \\ e_d = 1,33 e + 0,1 b \quad (20)$$

$$\text{atau} \\ e_d = 1,17 e - 0,1 b \quad (21)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1. Alir Penelitian



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus sampai dengan bulan September tahun 2023. Penelitian dilakukan dengan mengambil pada Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela Universitas Pattimura.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. As Built Drawing
2. Laporan Penyelidikan Tanah
3. Monitoring Pekerjaan Kalendering

3.4 Teknik Analisa Data

1. Penentuan Parameter Beban Gempa

Untuk memudahkan perhitungan parameter spektrum maka akan diinput pada aplikasi desain spektra Indonesia dengan Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela Universitas Pattimura Ambon sebagai lokasi yang akan ditinjau.

Parameter dari desain spektrum yang diperoleh dari program desain spektra Indonesia adalah parameter respon spektra percepatan desain pada periode pendek (SDS) dan parameter respon spektra percepatan desain pada periode 1 detik (SD1).

2. Penentuan Kategori Desain Seismik

Berdasarkan nilai SDS dan nilai SD1 yang diperoleh dari bantuan program desain spektra Indonesia maka kategori desain seismik Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela Universitas Pattimura Ambon dapat ditentukan.

3. Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur menggunakan portal 3D dengan mendefinisikan dimensi dan material elemen struktural yang digunakan untuk kemudian digambarkan pada SAP2000 v.22 sesuai dengan As Built Drawing Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela seperti balok, kolom, pelat lantai, dan pelat atap.

4. Input Pembebanan Struktur

a. Beban Mati

Beban mati yang dihitung berdasarkan permodelan dimana berat sendiri elemen struktur terdiri dari kolom, balok dan pelat lantai dihitung secara otomatis dengan program SAP2000 v.22.

b. Beban Hidup

Beban hidup yang dimasukkan dalam program SAP2000 v.22 dinotasikan dalam live. Beban hidup ini mendapatkan reduksi dari beban gempa. Perhitungan beban hidup ini dalam program SAP2000 v.22 untuk live adalah 0, dimana beban hidup perlu dimasukkan secara manual sesuai dengan data yang ada berdasarkan peraturan yang digunakan.

Adapun beban hidup yang digunakan yaitu :

- Beban hidup lantai

Beban Hidup = 1,92 kN/m²

Beban Partisi = $\frac{0,72 \text{ kN/m}^2}{2,64 \text{ kN/m}^2}$

Beban hidup atap = 0,96 kN/m²

c. Beban Gempa

Perhitungan beban gempa dihitung sesuai SNI 1726-2019, dengan menggunakan analisis statik ekuivalen dan analisis *time history*.

5. Analisis Statik Ekuivalen Berdasarkan SNI 1726-2019

Perhitungan analisis statik ekuivalen dapat dilakukan dengan menghitung :

a. Geser Dasar Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019, geser dasar seismik (V) dalam arah yang di tetapkan harus ditentukan sesuai persamaan (17)

b. Periode Fundamental Pendekatan

Berdasarkan SNI 1726:2019 periode struktur fundamental (T) dalam arah yang ditinjau harus diperoleh dengan menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan. Periode struktur fundamental memiliki batas minimum dan maksimum. Nilai- nilai tersebut adalah : Nilai minimum periode bangunan (T_a minimum) dan Nilai maksimum (T_a maksimum) di tentukan dari persamaan (1) dan (2)

c. Distribusi Horizontal Gaya Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2019, gaya geser dasar di semua tingkat harus di tentukan dari persamaan (18)

6. Analisis Time History

Beban gempa yang digunakan dalam analisis time history diambil dari rekaman catatan gempa yakni rekaman gempa El- Centro.

7. Hasil Analisis Struktur

Hasil analisis struktur pada SAP2000 v.22 didapatkan pusat massa, pusat kekakuan, eksentrisitas, periode struktur, partisipasi massa, gaya geser dasar, dan *story drift*. Hasil tersebut akan menjadi acuan dalam menentukan kinerja struktur gedung yang diamati.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Parameter Beban Gempa dengan Aplikasi Desain Spektra Indonesia

Parameter dari desain spektrum yang diperoleh dari program desain spektra Indonesia adalah parameter respon spektra percepatan desain pada periode pendek (SDS) dan parameter respon spektra percepatan desain pada periode 1 detik (SD1). Nilai SDS yang diperoleh adalah 0,77 dan nilai SD1 yang diperoleh adalah 0,50.

4.2. Kategori Desain Seismik

Berdasarkan nilai SDS dan nilai SD1 yang diperoleh dari bantuan program desain spektra Indonesia dimana $SDS \geq 0,50$ dan $SD1 \geq 0,20$ maka Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela Universitas Pattimura Ambon termasuk dalam wilayah dengan kategori desain seismik D dengan kategori risiko IV.

4.3. Perhitungan Analisis Statik Ekuivalen

1. Perhitungan Beban Pada Struktur Gedung

Perhitungan beban mati dan beban hidup pada gedung untuk mendapatkan beban gempa statik ekuivalen. Perhitungan beban mati dan beban hidup hanya dilakukan untuk beban yang bekerja pada pelat lantai dan pelat atap. Beban mati dan beban hidup yang bekerja pada pelat lantai adalah sebagai berikut:

a. Beban yang bekerja pada lantai 1 sampai dengan lantai 4 :

1. Beban Mati :

- Spesi lantai ($t=2,5\text{cm}$) = $0,21 \times 2,5 = 0,525 \text{ kN/m}^2$ (PPPURG 1987)
 - Penutup lantai granit = $1,10 \text{ kN/m}^2$ (SNI 1727:2020 Tbl C3.1-1)
 - Plafon + penggantung = $0,18 \text{ kN/m}^2$ (PPPURG 1987)
 - M & E = $0,20 \text{ kN/m}^2$ (SNI 1727:2020 Tbl C3.1-1)
- Total beban mati = $2,005 \text{ kN/m}^2$

2. Beban Hidup :

- Beban hidup = $1,92 \text{ kN/m}^2$ (SNI 1727:2020 tabel 4.3-1)
 - Beban partisi = $0,72 \text{ kN/m}^2$ (SNI 1727:2020 pasal 4.3.2)
- Total beban hidup = $2,64 \text{ kN/m}^2$

b. Beban yang bekerja pada lantai 5 (atap)**1. Beban Mati**

- Plafon + penggantung = 0,18 kN/m²
- M & E = 0,20 kN/m²
- Total beban mati = 0,38 kN/m²

2. Beban Hidup :

- Beban hidup = 0,96 kN/m²
- Total beban hidup = 0,96 kN/m²

Tabel 1. Rekapitulasi Perhitungan Berat Struktur Gedung

Berat Lantai	Beban Mati (kN)	Beban Hidup (kN)	Berat Total (kN)
W1	17.191	4.298	21.489
W2	13.787	4.298	18.085
W3	13.787	4.298	18.085
W4	10.987	3.458	14.445
W5 (Atap)	2.261	317	2.578
Berat Total Bangunan (Wtotal) =			74.682

2. Periode Fundamental Pendekatan (T)

Untuk bangunan Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela yang di desain dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) berdasarkan tabel 2.5, nilai koefisien modifikasi respon (R) = 8. Dengan demikian untuk nilai Ct = 0,0466 dan nilai x = 0,9. Kemudian dapat dihitung nilai periode getar fundamental sebagai berikut :

$$T = C_t \cdot h_n^x$$

$$= 0,0466 \cdot 20,50,9$$

3. Perhitungan Koefisien Respon Sesimik

Untuk kota Ambon, diperoleh respon spektrum desain dengan SDS = 0,77 sedangkan SD1 = 0,50. Dengan demikian koefisien respon seismik (CS) adalah sebagai berikut :

$$CS = \left(\frac{SDS}{R} \right)$$

$$CS = \left(\frac{0,77}{8} \right)$$

$$CS = 0,144$$

Tetapi nilai Cs tidak perlu diambil lebih besar dari :

$$CS = \frac{SD1}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)}$$

$$CS = \frac{0,50}{0,7063 \left(\frac{8}{1,5} \right)}$$

$$CS = 0,133$$

Namun, nilai CS yang dihitung tidak kurang dari nilai berikut :

$$CS = 0,44 \cdot SDS \cdot I_e \geq 0,01$$

$$= 0,44 \times 0,77 \times 1,5 \geq 0,01$$

$$= 0,5082 \geq 0,01$$

Dengan demikian, nilai CS yang dipakai adalah 0,133 = 0,7063 detik.

4. Perhitungan Gaya Geser Dasar Seismik (V)

$$\text{Gaya geser dasar seismik (V)} = CS \cdot W$$

$$= 0,1327 \times 74.682 \text{ kN}$$

$$= 9.913 \text{ kN}$$

5. Perhitungan Distribusi Vertikal Gaya Gempa Dan Distribusi Horizontal Gaya Gempa

Gaya gempa lateral yang timbul di semua tingkat dapat dihitung dengan persamaan:

$$F_i = C_{vx} V$$

$$C_{vx} = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

Karena nilai T = 0,7063 detik, maka untuk mencari nilai k harus dilakukan interpolasi linier. Berdasarkan hasil interpolasi linier didapatkan nilai k = 1,103. Dengan didapatkan nilai k, maka gaya horizontal statik ekuivalen dapat dihitung :

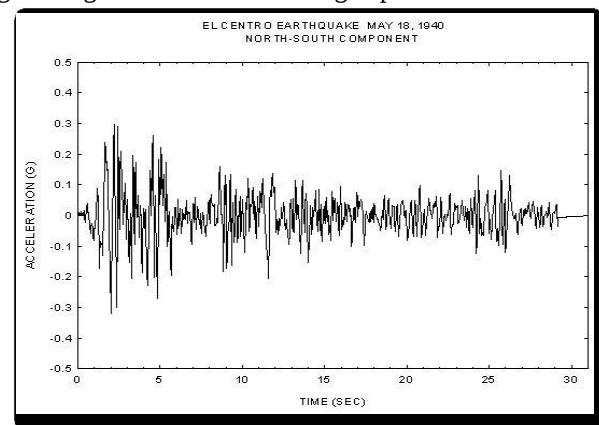
$$F_i = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \cdot V$$

Tabel 2. Hasil Perhitungan Distribusi Vertikal Gaya Gempa dan Distribusi Horizontal Gaya Gempa

Tingkat (i)	Wi (kN)	hi (m)	wihi ^k	$F_i = \frac{w_i h_i^k}{\sum w_i h_i^k} \cdot V$	$V_{\text{kumulatif}} (\sum F_i)$	Fi (x) kN	Fi (y) kN
				(kN)	(kN)		
5 (atap)	2.578	20,50	72.157	724	724	180,94	241,25
4	14.445	16,50	318.246	3.192	3.916	399,01	532,02
3	18.085	12,50	293.327	2.942	6.858	367,77	490,36
2	18.085	8,50	191.685	1.923	8.781	240,33	274,67
1	21.489	4,50	112.928	1.133	9.913	141,59	161,81
0	74.682		988.342	9.913			

6. Gaya Gempa Untuk Analisis Time History

Gaya gempa untuk analisis *time history* diambil dari rekaman catatan *el-centro* yang diperoleh dari program SAP2000 v.22. Dibawah ini gambar grafik rekaman catatan gempa *el-centro*.



Gambar 2. Grafik Rekaman Catatan Gempa El-Centro (Vibration Data El-Centro)

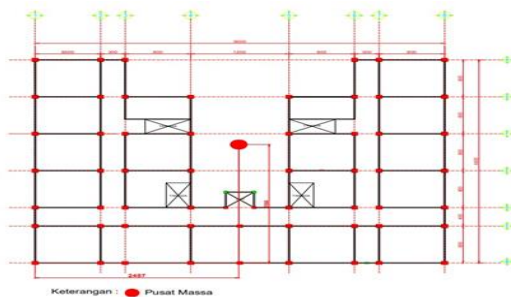
4. 4. Perhitungan Koordinat Pusat Massa Terhadap Pusat Rotasi Gedung

1. Pusat Massa

Menurut SNI 1726:2002, pusat massa (CM) merupakan titik tangkap beban gempa statik ekuivalen maupun beban gempa dinamik yang bekerja pada masing-masing tingkat bangunan. Pada perhitungan ini, untuk menentukan pusat massa (CM) dihitung dengan bantuan program SAP2000.

Tabel 3. Rekapitulasi Perhitungan Koordinat Pusat Massa (Output SAP2000)

Story	Diaphragm	XCM	YCM
Lt.5	D1_20,5	25,000	21,329
Lt.4	D1_16,5	24,622	25,205
Lt.3	D1_12,5	24,887	27,296
Lt.2	D1_8,5	24,887	27,296
Lt.1	D1_4,5	24,938	27,163
Rata-rata :		24,867	25,658



Gambar 3. Titik Pusat Massa Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela

2. Pusat Kekakuan

Pusat rotasi/kekakuan bangunan (CS) adalah suatu titik pada lantai suatu tingkat bangunan itu yang bila suatu beban horizontal bekerja padanya, lantai tingkat tersebut tidak berotasi tetapi hanya bertranslasi. Sedangkan lantai-lantai tingkat lainnya yang tidak mengalami beban horizontal semuanya berotasi dan bertranslasi.

Perhitungan pusat kekakuan (*Center of Stiffness*)

$$E = 4700 \times \sqrt{f'c}$$

$$I = \frac{1}{12} b \times h^3$$

$$K = \frac{12 \times E \times I}{l^3}$$

$$Cos_{x,y} = \left(\frac{\sum kx}{\sum k}, \frac{\sum ky}{\sum k} \right)$$

Dimana :

E = Modulus elastisitas beton

$f'c$ = Mutu kuat tekan beton

I = Momen inersia kolom ($I = 1/12 \times b \times h^3$)

b,h = Dimensi kolom

k = Kekakuan elemen struktur

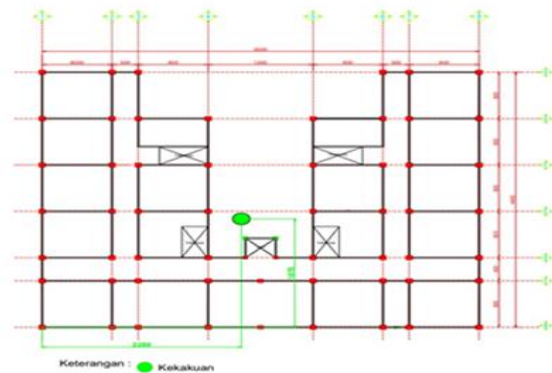
x,y = Jarak ordinat origin ke ordinat titik berat bidang absis x,y

$COS_{x,y}$ = Ordinat pusat kekakuan absis x,y

Perhitungan pusat kekakuan dengan menggunakan *Microsoft Office Excel 2007* dan hasilnya ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 4. Rekapitulasi Perhitungan Koordinat Pusat Kekakuan

Story	COS_x	COS_y
Lt.5	14,000	5,333
Lt.4	25,000	17,273
Lt.3	25,000	21,143
Lt.2	25,000	21,143
Lt.1	25,000	28,592
Rata-Rata :	22,800	18,697



Gambar 4. Titik Pusat Kekakuan Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela

4.5. Eksentrisitas Antara Pusat Massa Bangunan dan Pusat Kekakuan Struktur

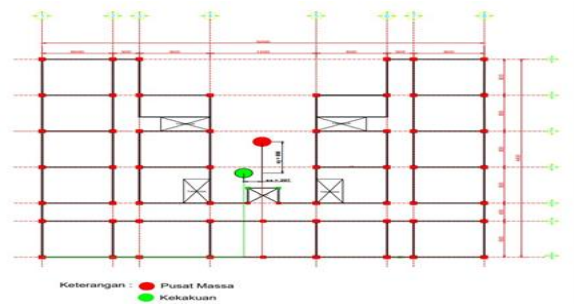
Dari hasil perhitungan pusat massa bangunan dan pusat kekakuan struktur maka didapat nilai eksentrisitas yang dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 5. Koordinat Titik Pusat Massa dan Pusat Kekakuan

Lantai ke-	Elevasi	Koordinat			
		Pusat Massa		Pusat Kekakuan	
		X	Y	X	Y
1	+4,50	24,938	27,163	25,000	28,592
2	+8,50	24,887	27,296	25,000	21,143
3	+12,50	24,887	27,296	25,000	21,143
4	+16,50	24,622	25,205	25,000	17,273
5	+20,50	25,000	21,329	14,000	5,333
Rata-rata		24,867	25,658	22,800	18,697

Tabel 6. Eksentrisitas Antara Pusat Massa dan Pusat Kekakuan Struktur

Lantai ke-	Elevasi	Koordinat	
		e_x	e_y
1	+4,50	-0,06	-1,43
2	+8,50	-0,11	6,15
3	+12,50	-0,11	6,15
4	+16,50	-0,38	7,93
5	+20,50	11,00	16,00
Rata-rata		2,07	6,96



Gambar 5. Eksentrisitas Antara Pusat Massa dan Pusat Kekakuan Struktur Gedung

4.6. Kontrol Hasil Analisa Struktur

1. Periode Struktur

Tabel 7. Periode Struktur Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela

OutputCase	StepType	StepNum	Period
Text	Text	Unitless	Sec
MODAL	Mode	1	0,975473
MODAL	Mode	2	0,923668
MODAL	Mode	3	0,831115
MODAL	Mode	4	0,372306
MODAL	Mode	5	0,372176
MODAL	Mode	6	0,369839
MODAL	Mode	7	0,368331
MODAL	Mode	8	0,362144
MODAL	Mode	9	0,362132
MODAL	Mode	10	0,359555
MODAL	Mode	11	0,344244
MODAL	Mode	12	0,3331
MODAL	Mode	13	0,331574

2. Partisipasi Massa

Tabel 8. Modal Participating Mass Ratios pada Struktur Gedung

OutputCase	StepType	StepNum	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	1,447E-07	0,78506
MODAL	Mode	2	0,78997	0,78506
MODAL	Mode	3	0,7925	0,78512
MODAL	Mode	4	0,7925	0,78569
MODAL	Mode	5	0,79253	0,78569
MODAL	Mode	6	0,79253	0,78571
MODAL	Mode	7	0,79253	0,78576
MODAL	Mode	8	0,79271	0,78577
MODAL	Mode	9	0,79271	0,7878
MODAL	Mode	10	0,79272	0,89927
MODAL	Mode	11	0,90426	0,89927
MODAL	Mode	12	0,90456	0,89928
MODAL	Mode	13	0,90456	0,90539

3. Gaya Geser Dasar (Base Shear)

Tabel 9. Gaya Geser Dasar (Base Reactio) untuk Output Time History

OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	Text	KN	KN
TIME HISTORY	LinModHist	Max	2417,61	4677,86
TIME HISTORY	LinModHist	Min	-2761,01	-5098,08

Untuk Arah X :

Tabel 10. Gaya Geser Dasar Arah X

Beban Gempa	Gaya Geser Dasar	
	Arah - X	Arah - Y
Statik Ekuivalen X	9913,36	-0,00000000005523
TH - X	5265,66	0

Untuk Arah Y :

Tabel 11. Gaya Geser Dasar Arah Y

Beban Gempa	Gaya Geser Dasar	
	Arah - X	Arah - Y
Statik Ekuivalen Y	-0,00000000001992	9913,36
TH - Y	0	5265,66

Tabel 12. Gaya Geser Dasar Arah X dan Y Setelah Diberikan Faktor Skala

OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	Text	KN	KN
TIME HISTORY	LinModHist	Max	4549,942	8803,734
TIME HISTORY	LinModHist	Min	-5196,221	-9594,594

Dari output pada tabel diatas bisa diambil beberapa nilai gaya geser dasar (v) sehingga nilai :

V dinamik (X) =

$$4549,942 \text{ kN (min)} ; 5196,221 \text{ kN (max)}$$

V dinamik (Y) =

$$8803,734 \text{ kN (min)} ; 9594,594 \text{ kN (max)}$$

Pada analisis *time history* akan diberikan dua hasil *envelope* maksimum dan minimum. Perlu diingat juga bahwa arah pembebanan bersudut terhadap arah sumbu X dan Y, sehingga output gaya geser dasar perlu dikombinasikan dahulu :

V dinamik (max)

$$= \sqrt{5196,221^2 + 9594,594^2} = 10911,32 \text{ kN}$$

V dinamik (min)

$$= \sqrt{4549,942^2 + 8803,734^2} = 9909,98 \text{ kN}$$

Cek apakah gaya geser dasar arah X dan Y

memenuhi : $0,85V_{\text{statik}} \leq V_{\text{dinamik}}$

$$0,85 \times 9913,36 = 8426,35 \text{ kN} < 9909,98 \text{ kN} \text{ (memenuhi)}$$

4.7. Perbandingan Respon Struktur

1. Simpangan Antar Lantai dan Perpindahan Gempa Statik Ekuivalen Arah X

Tabel 13. Simpangan Antar Lantai dan Perpindahan Akibat Gempa statik Ekuivalen Arah X

Lantai	Tinggi (Li)	Total Perpindahan Akibat Gempa (δe)	Selisih Perpindahan (δ)	Simpangan Antar Lantai (Δ)	Simpangan Antar Lantai Ijin (Δa)	Rasio Simpangan Antar Lantai (Δ/Li)	Rasio Simpangan Antar Lantai Ijin (Δa/Li)	Kontrol (Δ/Li) ≤ (Δa/Li)
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	%	%	
5	4000	69,951	13,089	71,989	40	1,800	1,0	Tdk. Aman
4	4000	56,862	14,371	79,041	40	1,976	1,0	Tdk. Aman
3	4000	42,491	15,406	84,733	40	2,118	1,0	Tdk. Aman
2	4000	27,085	15,897	87,434	40	2,186	1,0	Tdk. Aman
1	4500	11,188	11,188	61,534	45	1,367	1,0	Tdk. Aman

Dari hasil perhitungan dan analisis dengan bantuan program SAP2000 v.22 akibat gaya gempa statik ekuivalen, terlihat bahwa nilai perpindahan terbesar terdapat pada lantai 5 dan nilai rasio simpangan antar lantai terbesar terdapat pada lantai 1. Nilai rasio simpangan antar lantai 1-5 dinyatakan tidak aman, karena berdasarkan SNI 1726:2019 nilai simpangan lantai 1-5 lebih besar daripada nilai $0,01H_{sx}$ sehingga mengakibatkan struktur gedung dapat kehilangan banyak kekakuan dan kekuatan yang berdampak pada keamanan dan kestabilan struktur. Untuk mengatasi rasio simpangan antar lantai desain lebih besar dari rasio simpangan antar lantai ijin maka struktur bangunan perlu diperkuat dengan dinding geser.

Tabel 14. Simpangan Antar Lantai dan Perpindahan Akibat Gempa Statik Ekuivalen Arah Y

Lantai	Tinggi (Li)	Total Perpindahan Akibat Gempa (δe)	Selisih Perpindahan (δ)	Simpangan Antar Lantai (Δ)	Simpangan Antar Lantai Ijin (Δa)	Rasio Simpangan Antar Lantai (Δ/Li)	Rasio Simpangan Antar Lantai Ijin (Δa/Li)	Kontrol (Δ/Li) ≤ (Δa/Li)
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	%	%	
5	4000	62,743	11,641	64,026	40	1,601	1,0	Tdk. Aman
4	4000	51,102	12,900	70,950	40	1,774	1,0	Tdk. Aman
3	4000	38,202	13,349	73,420	40	1,835	1,0	Tdk. Aman
2	4000	24,853	14,393	79,162	40	1,979	1,0	Tdk. Aman
1	4500	10,460	10,460	57,530	45	1,278	1,0	Tdk. Aman

Nilai rasio simpangan antar lantai 1-5 dinyatakan tidak aman, karena berdasarkan SNI 1726:2019 nilai simpangan lantai 1-5 lebih besar daripada nilai $0,01H_{sx}$ sehingga mengakibatkan struktur gedung dapat kehilangan banyak kekakuan dan kekuatan yang berdampak pada keamanan dan kestabilan struktur. Untuk mengatasi rasio simpangan antar lantai desain lebih besar dari rasio simpangan antar lantai ijin maka struktur bangunan perlu diperkuat dengan dinding geser dan juga penambahan breising.

2. Simpangan Antar Lantai dan Perpindahan Gempa Time History Arah X

Tabel 15. Simpangan Antar Lantai dan Perpindahan Akibat Gempa Time History Arah X

Lantai	Tinggi (Li)	Total Perpindahan Akibat Gempa (δe)	Selisih Perpindahan (δ)	Simpangan Antar Lantai (Δ)	Simpangan Antar Lantai Ijin (Δa)	Rasio Simpangan Antar Lantai (Δ/Li)	Rasio Simpangan Antar Lantai Ijin (Δa/Li)	Kontrol (Δ/Li) ≤ (Δa/Li)
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	%	%	
5	4000	16,386	2,656	14,608	40	0,365	1,0	Aman
4	4000	13,730	3,044	16,742	40	0,419	1,0	Aman
3	4000	10,686	3,610	19,855	40	0,496	1,0	Aman
2	4000	7,076	4,047	22,259	40	0,556	1,0	Aman
1	4500	3,029	3,029	16,660	45	0,370	1,0	Aman

Dari hasil perhitungan dan analisis dengan bantuan program SAP2000 v.22 akibat gaya gempa *time history*, terlihat bahwa nilai perpindahan terbesar terdapat pada lantai 5 dan nilai rasio simpangan antar lantai terbesar terdapat pada lantai 2. Nilai rasio simpangan antar lantai 1-5 dinyatakan aman.

Tabel 16. Simpangan Antar Lantai dan Perpindahan Akibat Gempa Time History Arah Y

Lantai	Tinggi (Li)	Total Perpindahan Akibat Gempa (δe)	Selisih Perpindahan (δ)	Simpangan Antar Lantai (Δ)	Simpangan Antar Lantai Ijin (Δa)	Rasio Simpangan Antar Lantai (Δ/Li)	Rasio Simpangan Antar Lantai Ijin (Δa/Li)	Kontrol (Δ/Li) ≤ (Δa/Li)
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	%	%	
5	4000	27,292	2,938	16,159	40	0,404	1,0	Aman
4	4000	24,354	4,671	25,691	40	0,642	1,0	Aman
3	4000	19,683	6,812	37,466	40	0,937	1,0	Aman
2	4000	12,871	7,183	39,507	40	0,988	1,0	Aman
1	4500	5,688	5,688	31,284	45	0,695	1,0	Aman

Dari hasil perhitungan dan analisis dengan bantuan program SAP2000 v.22 akibat gaya gempa *time history*, terlihat bahwa nilai perpindahan terbesar terdapat pada lantai 5 dan nilai rasio simpangan antar lantai terbesar terdapat pada lantai 2. Nilai rasio simpangan antar lantai 1-5 dinyatakan aman.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Ditinjau dengan menggunakan analisis statik ekuivalen, nilai perpindahan (displacement) struktur yang terbesar terdapat pada lantai 5 yaitu 69,951 mm (arah-x) dan 62,743 mm (arah-y). Nilai rasio simpangan antar lantai (story drift) terbesar terdapat pada lantai 2 yaitu 2,186% (arah-x) dan 1,979% (arah-y). Nilai rasio simpangan antar lantai 1-5 untuk arah X yakni 1,367%, 2,186%, 2,118%, 1,976% dan 1,800% juga untuk arah Y yakni 1,278%, 1,979%, 1,835%, 1,774% dan 1,601% dinyatakan tidak aman karena berdasarkan SNI 1726:2019, nilai rasio simpangan untuk lantai 1-5 lebih besar

daripada nilai nilai rasio simpangan antar lantai ijin yakni 1,0%. Sehingga mengakibatkan struktur gedung tidak aman dan dapat kehilangan banyak kekakuan dan kekuatan yang berdampak pada keamanan dan kestabilan struktur.

2. Ditinjau dengan menggunakan analisis time history, nilai perpindahan (displacement) terbesar terdapat pada lantai 5 yaitu 16,437 mm (arah-x) dan 27,899 mm (arah-y). Nilai rasio simpangan antar lantai (story drift) terbesar pada arah X terdapat pada lantai 2 yaitu 0,540% dan nilai rasio simpangan antar lantai (story drift) terbesar pada arah Y terdapat pada lantai 2 yaitu 0,927% . Pada arah X dan Y, nilai rasio simpangan antar lantai 1-5 dinyatakan aman, dikarenakan nilai rasio simpangan simpangan antar lantai yakni 0,370%, 0,556%, 0,496%, 0,419%, 0,365% (arah-x) dan 0,695%, 0,988%, 0,937%, 0,642% dan 0,404% (arah-y) lebih kecil dari nilai rasio simpangan antar lantai ijin yakni 1,0%.
3. Dari peninjauan nilai displacement serta story drift tersebut dapat disimpulkan bahwa analisis time history lebih realistis digunakan dibandingkan dengan analisis statik ekivalen karena hasil dari analisis time history yang lebih akurat untuk meninjau kinerja ketidakberaturan struktur gedung.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini adalah :

1. Dalam merencanakan struktur gedung bertingkat khususnya gedung bertingkat yang tidak beraturan di wilayah rawan gempa seperti di Kota Ambon, agar tetap memperhatikan peraturan dan pedoman-pedoman standar dalam perencanaan struktur seperti persyaratan perencanaan struktur tahan gempa, tata letak gedung dan lain sebagainya.
2. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat dikembangkan lebih mendalam kajian tentang kinerja ketidakberaturan struktur akibat gempa.
3. Berdasarkan kesimpulan nomor 1, maka untuk mengatasi rasio simpangan antar lantai desain yang lebih besar dari rasio simpangan antar lantai ijin maka struktur bangunan perlu diperkuat dengan dinding geser dan juga penambahan breising (*NEHRP "Recommended Seismic Provisions For New Buildings and Other Structures FEMA P-750", 2009*).

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726-2012)*. Jakarta : BSN

Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2019)*. Jakarta : BSN

Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847-2019)*. Jakarta : BSN

Badan Standarisasi Nasional. 2020. *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2020)*. Jakarta : BSN

Pauly & Priestly. 1992. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Building* Publisherr - Wiley Interscience 1 Edition. ISBN - 10 : 0471549150 ISBN - 13 : 978-0471549154

Standar Konstruksi Bangunan Indonesia. 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*. Jakarta : Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum

Widodo Pawirodikromo. 2012. *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Jakarta : Pustaka Pelajar