

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan sebagian besar wilayahnya memiliki tingkat kerawanan yang tinggi terhadap gempa bumi. Secara geografis, empat lempeng tektonik mengelilingi Indonesia, yakni lempeng benua Asia, Benua Australia, Samudra Hindia dan Samudra Pasifik. Ketika bertabrakan atau terpisah antar lempeng, maka munculah gelombang tektonik atau disebut gempa tektonik. Gempa bumi merupakan fenomena alam yang sering terjadi di Indonesia, karena hampir setiap tahun Indonesia diterpa gempa, baik yang ringan maupun yang terhitung besar, fenomena alam ini cukup menelan banyak korban jiwa dan kerugian materiil serta kerusakan pada fasilitas umum yang ada. Masalah yang ditimbulkan akibat gempa bumi tersebut sangat kompleks, baik dari segi hancurnya bangunan maupun fisik korban dan psikologis korban (Sandhi, dkk, 2016).

Gempa yang terjadi menyebabkan bangunan bergerak baik dalam arah vertikal maupun horizontal. Pergerakan yang paling berbahaya adalah gerakan horizontal, gerak ini menyebabkan struktur mengalami deformasi horizontal atau simpangan. Di Indonesia gempa terjadi rata-rata sebagian terjadi pada daerah lepas pantai dan sebagian lagi pada daerah pemukiman. Pada daerah pemukiman yang cukup padat, perlu adanya suatu perlindungan untuk mengurangi angka kematian penduduk dan

kerusakan berat akibat guncangan gempa. Dengan menggunakan prinsip teknik yang benar, detail konstruksi yang baik dan praktis maka kerugian harta benda dan jiwa manusia dapat berkurang.

Salah satu penyebab keruntuhan bangunan adalah ketidak stabilan struktur. Pada struktur stabil deformasi yang diakibatkan oleh beban pada umumnya kecil, dan gaya internal yang timbul didalam struktur mempunyai kecenderungan mengembalikan bentuk struktur ke bentuk semula apabila beban dihilangkan. Stabilitas pada struktur merupakan hal dasar harus terpenuhi untuk menjaga bangunan tetap berdiri. Struktur yang tidak stabil apabila menerima beban maka struktur tersebut mengalami perubahan bentuk (deformasi) yang lebih besar dibandingkan struktur yang stabil. Hal ini menunjukkan semakin tinggi rasio kelangsingan struktur maka kekakuan struktur mengalami penurunan (Sudarsana dkk, 2021). Salah satu cara yang dapat dilakukan agar struktur menjadi lebih stabil adalah memilih mekanisme atau system penahan gempa seperti rangka terbuka, dinding geser, dinding pengisi dan *bracing*. Diantara beberapa cara perkuatan struktur eksisting, *bracing* adalah salah satu system penahan deformasi akibat gempa. Dengan penambahan *bracing* maka tingkat daktilitas struktur dapat berubah menjadi lebih baik dibandingkan tanpa adanya *bracing* (Purnamawanti, 2006).

Keuntungan penggunaan sistem *bracing* pada struktur beton bertulang dapat meningkatkan kekuatan, kekakuan, kemampuan kolom dalam menahan gaya (geser dan aksial). Penggunaan *bracing* juga dimaksudkan agar saat terjadi gempa, gaya lateral yang mengenai struktur tidak hanya ditahan oleh elemen

balok dan kolom pada struktur tetapi juga ditahan oleh sistem *bracing* (farren, dkk, 2019). Kerugian atau kekurangan dari penerapan penggunaan *bracing* yaitu dari segi keindahan arsitekturnya kurang, lemah terhadap gaya tekan, membutuhkan biaya yang tinggi dan tidak tahan api.

Terdapat beberapa tipe system rangka *bracing* yaitu Z, V, Λ dan X. Diantara beberapa tipe *bracing*, struktur dengan *bracing* tipe X memiliki nilai momen lentur terkecil dibandingkan tipe *bracing* lainnya (Viswanath, dkk, (2010). Penggunaan *bracing* X duang lantai dapat menghindari ketidakstabilan dan sendi plastis pada balok lantai. *Bracing* X dua lantai biasanya dikombinasikan pada bangunan yang kolom-kolomnya dibuat langsing, sehingga kekakuan struktur menjadi besar dan deformasi lateral akan menjadi kecil.

Berdasarkan ulasan diatas maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh penggunaan *bracing* X dua tingkat pada perilaku dinamis suatu gedung bertingkat 4, 6, dan 8 lantai dengan analisis *time history*. Gedung bertingkat 4, 6 dan 8 lantai merupakan bangunan bertingkat rendah sesuai dengan ketentuan yang ada di Bali yang berfungsi sebagai hotel. Untuk mencari hasil respon struktur, simpangan maksimum, simpangan antar tingkat, gaya geser dasar, gaya geser antar tingkat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalahnya yaitu bagaimana pengaruh penggunaan *bracing* X dua tingkat pada perilaku dinamis suatu gedung bertingkat 4, 6, dan 8 lantai dengan analisis *time history* berdasarkan rekaman gempa Sumatera Barat tahun 2007.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai yaitu untuk mengetahui bagaimana pengaruh penggunaan *bracing* X dua tingkat pada perilaku dinamis suatu gedung bertingkat 4, 6, dan 8 lantai dengan analisis *time history* dengan rekaman gempa Sumatera Barat tahun 2007.

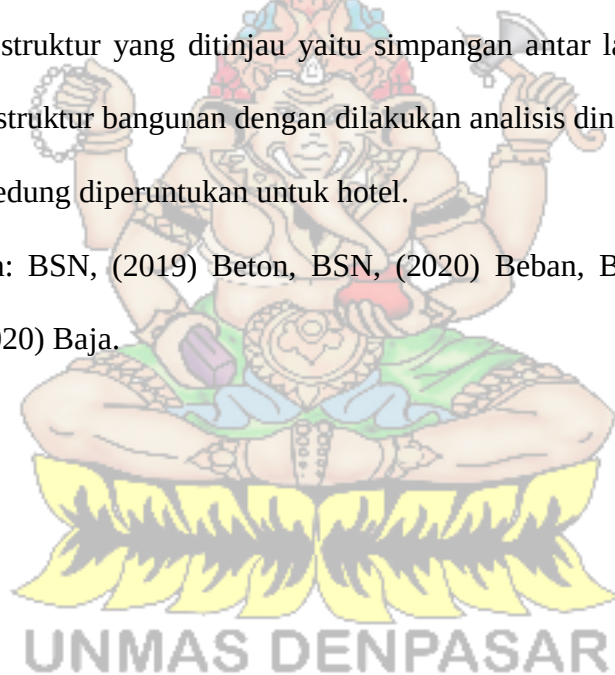
1.4 Manfaat penelitian

- 1 Manfaat teoritis dalam penulisan tugas akhir ini adalah dapat memberikan kontribusi terhadap ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang Teknik sipil, mengembangkan pengetahuan mengenai penggunaan *software* SAP2000.
- 2 Manfaat hasil dari penelitian ini dapat dikembangkan atau dapat dijadikan sebuah acuan untuk merancang struktur gedung beton bertulang dengan mengkombinasikan sistem *bracing*.
- 3 Manfaat dalam penulisan tugas akhir ini adalah untuk mengetahui seberapa efektif penggunaan sistem *bracing* untuk menahan beban lateral pada struktur beton bertulang. Diharapkan struktur yang direncanakan nantinya dapat aman apabila terjadi gempa, sehingga kerugian materi maupun korban jiwa akibat kerusakan bangunan dapat dihindarkan.

1.5 Batasan Masalah dan Ruang Lingkup Penelitian

Agar mempermudah mencapai tujuan, maka akan dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Bangunan yang ditinjau bangunan gedung bertingkat 4, 6, dan 8 dengan struktur beton bertulang, dengan bangunan bertingkat rendah sesuai ketentuan di Bali.
2. Analisis struktur ditinjau dengan menggunakan software SAP2000.
3. Tidak meninjau aspek ekonomis dan keindahan gedung karena hanya meninjau struktur gedung.
4. Perhitungan struktur bawah (pondasi) tidak dilakukan.
5. Perilaku struktur yang ditinjau yaitu simpangan antar lantai dan bagaimana perilaku struktur bangunan dengan dilakukan analisis dinamis.
6. Fungsi gedung diperuntukan untuk hotel.
7. Peraturan: BSN, (2019) Beton, BSN, (2020) Beban, BSN, (2019) Gempa, BSN, (2020) Baja.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

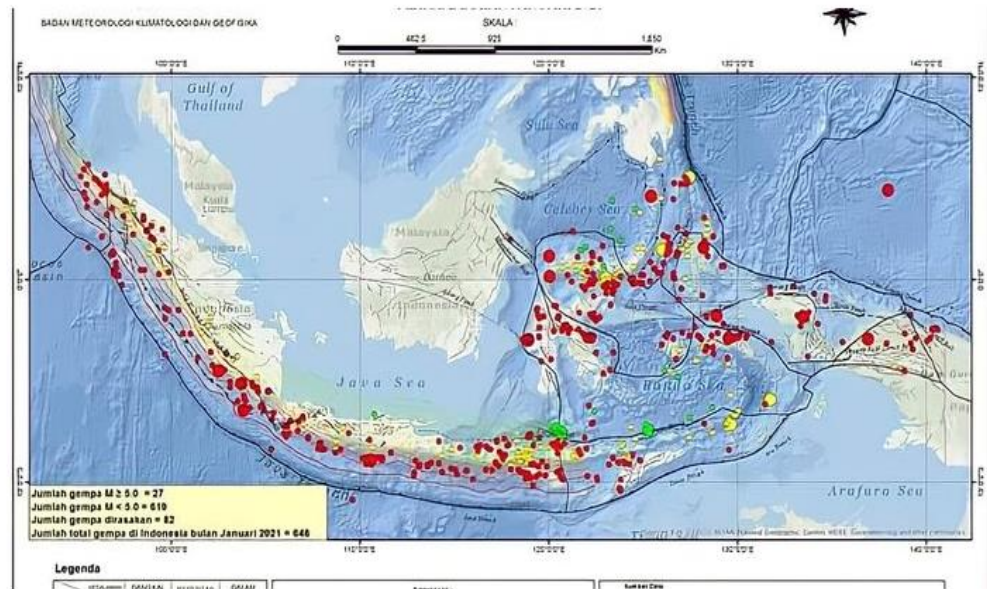
2.1 Gempa Bumi

Gempa bumi adalah salah satu peristiwa alam. Lebih spesifiknya, gempa bumi adalah peristiwa getaran yang berkaitan dengan kejutan pada kerak bumi. Kejutan tersebut menjalar dan membentuk gelombang *seismic* dan menyebabkan permukaan bumi serta bangunan di atasnya bergetar dan dapat menimbulkan kerusakan (Pujiyanto, 2017).

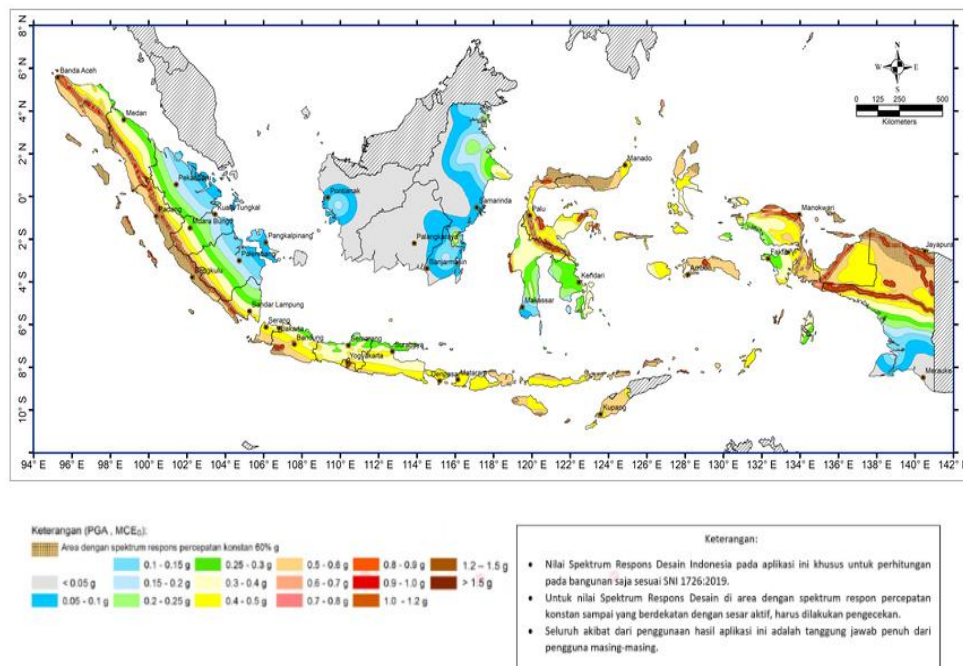
Gempa yang terjadi menyebabkan bangunan bergerak baik dalam arah vertical maupun horizontal. Pergerakan yang paling berbahaya adalah gerakan horizontal, gerak ini menyebabkan struktur mengalami deformasi horizontal atau simpangan.

Konstruksi bangunan tahan gempa adalah bangunan yang bisa merespon gempa, dengan sikap bertahan dari keruntuhan dan bersifat fleksibel untuk meredam getaran gempa. Bangunan tahan gempa merupakan bangunan yang dirancang dan diperhitungkan secara analisis, baik kombinasi beban, penggunaan material, dan penempatan massa strukturnya.

Sebanyak 646 gempa terjadi selama Januari 2021, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) mencatat zona aktif gempa dapat berlanjut pada Februari 2021.



Gambar 2.1 Peta Jumlah Gempa di Indonesia
(Sumber: BMKG, 2021)



Gambar 2.2 Peta Wilayah Gempa
(Sumber: rsa.ciptakarya.pu.go.id, 2021)

2.2 Karakteristik Bangunan Tahan Gempa

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam merencanakan suatu struktur tahan gempa yaitu dalam menghadapi gempa besar, kinerja struktur tahan gempa diupayakan dapat menyerap energi gempa secara efektif melalui terbentuknya sendi plastis pada bagian tertentu, dengan kriteria sebagai berikut: kekuatan, kekakuan, daktilitas, disipasi energi yang dapat dipenuhi oleh struktur beton bertulang.

2.2.1 Kekuatan Struktur

Kekuatan merupakan kemampuan elemen dan komponen struktur bangunan yang bekerja secara vertikal ataupun horizontal bangunan dalam menahan beban-beban yang timbul. Komponen struktur vertikal berupa kolom berfungsi menahan gaya-gaya vertikal yang dialirkan dan disebarkan menuju sub-struktur dan pondasi bangunan. Komponen struktur horizontal berupa struktur lantai dan balok sebagai penahan beban mati dan beban hidup yang diteruskan ke kolom (Zuhri, 2011).

2.2.2 Kekakuan Struktur

Kekakuan (*stiffness*) adalah ukuran tegangan yang dibutuhkan untuk mengubah satuan bentuk bahan. Besaran kekakuan suatu bahan adalah modulus elastisitasnya, yang didapat dengan membagi tegangan satuan yang diterima bahan dengan perubahan satuan bentuk bahan tersebut. Sedangkan kekakuan struktur adalah gaya yang diperlukan struktur bila mengalami deformasi sebesar satu satuan nilai kekakuan struktur ini tergantung dari material yang digunakan, dimensi elemen struktur, penulangan, modulus elastisitas, modulus elastisitas

geser dan momen inersia polar. Selain itu, kekakuan struktur juga terkait dengan nilai dari periode struktur tersebut (Budiono dan Supriatna, 2011).

2.2.3 Daktilitas Struktur

Daktilitas adalah kemampuan struktur atau komponen struktur untuk mengalami deformasi inelastis bolak-balik berulang setelah leleh pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup untuk mendukung bebannya, sehingga struktur tetap berdiri walaupun sudah retak/rusak dan diambang keruntuhan.

Faktor daktilitas struktur gedung μ adalah rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan (δ_m) dengan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama (δ_y). Pada kondisi elastik penuh nilai $\mu = 1,0$. Tingkat daktilitas struktur dipengaruhi oleh pola retak atau sendi plastis. Suatu struktur bangunan diharapkan sendi-sendi plastis terjadi di ujung-ujung balok dan bukan pada kolom dan dinding yang memikulnya.

Menurut Susilorini dan Sambowo (2010), daktilitas penampang elemen dinyatakan dengan daktilitas kurvatur (μ_ϕ) yaitu perbandingan kurvatur pada saat regangan tekan beton mencapai nilai batas (ϕ_μ) dengan kurvatur pada saat tulangan baja mencapai keadaan leleh (ϕ_y). Kurvatur ultimit (ϕ_μ) dan kurvatur leleh (ϕ_y) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\phi_\mu = \frac{\delta c \beta_1}{a} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$\phi_y = \frac{f_y/E_s}{d(1-k)} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana nilai k (Park and Paulay, 1974:204) adalah:

$$K = \left[(\rho - \rho')^2 n^2 + 2 \left(\rho + \frac{\rho' d'}{d} \right) n \right]^{1/2} - (\rho - \rho') n \dots \dots \dots (2.3)$$

Untuk balok beton bertulangan rangkap, dengan tulangan tarik dalam keadaan leleh, maka ϕ aktilitas kurvatur dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{\phi_\mu}{\phi_y} = \frac{0,85 \delta c \beta_1 E_s f'_c}{f''_y (\rho - \rho')} \left(1 + (\rho - \rho') n - \left((\rho - \rho')^2 n^2 + 2 \left(\rho + \frac{\rho' d'}{d} \right) n \right)^{1/2} \right) \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana:

ρ = rasio tulangan tarik

ρ' = rasio tulangan tekan

d = Jarak dari serat terluar ke pusat tulangan tarik

d' = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan

n = E_s/E_y

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

f''_y = Kuat tarik leleh baja (MPa)

= 0,85 untuk ≤ 30 MPa

= $0,85 - \left(\frac{0,05(f'_c - 30)}{7} \right)$ untuk $f'_c \geq 30$ MPa dan tidak dari 0,65

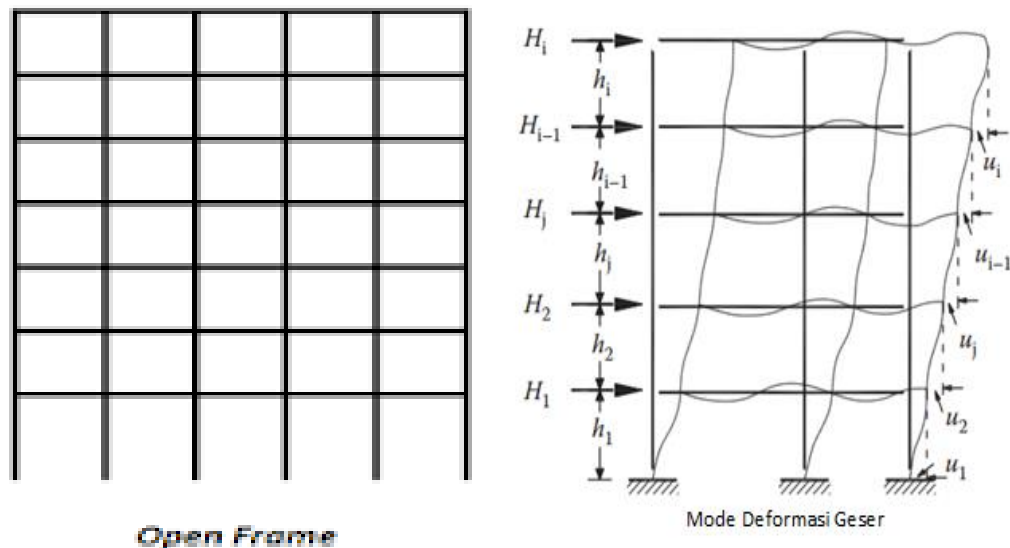
2.2.4 Disipasi Energi

Disipasi energi adalah kemampuan struktur dalam menyerap energi melalui proses leleh pada daerah sendi plastis. Dalam merencanakan suatu struktur gedung tahan gempa bersifat daktail di daerah sendi plastis sehingga diharapkan terjadinya deformasi plastis sebelum keruntuhan. Jika struktur diberi beban siklik (*cyclic loading*) maka energi yang diserap dalam satu siklus pembebanan adalah jumlah dari energi yang diserap saat menerima beban tarik dan beban tekan. Total energi terdisipasi selama pembebanan berlangsung merupakan luas daerah (*hysteresis loop*) beban (p) dan lendutan (Δ). faktor-faktor yang mempengaruhi disipasi energi adalah kuat tekan, dimensi penampang dan riwayat pembebanan (Masdiana dkk, 2016).

2.3 Struktur Penahan Gaya Gempa

2.3.1 Rangka Terbuka

Struktur *Open frame* adalah struktur yang terdiri dari kolom dan balok yang digabungkan dengan "sambungan tahan momen", untuk menahan beban dari gempa, dimana dinding pengisi tidak diperhitungkan untuk memikul gempa. Kekakuan *lateral* dari portal kaku cenderung bergantung dari kekakuan lentur dari kolom, balok serta sambungannya. Struktur *Open Frame* tanpa memakai dinding geser dan *bracing*. Berikut gambar Struktur *Open frame*:



Gambar 2.3 Rangka Terbuka
(Sumber: Suprpto, 2016)

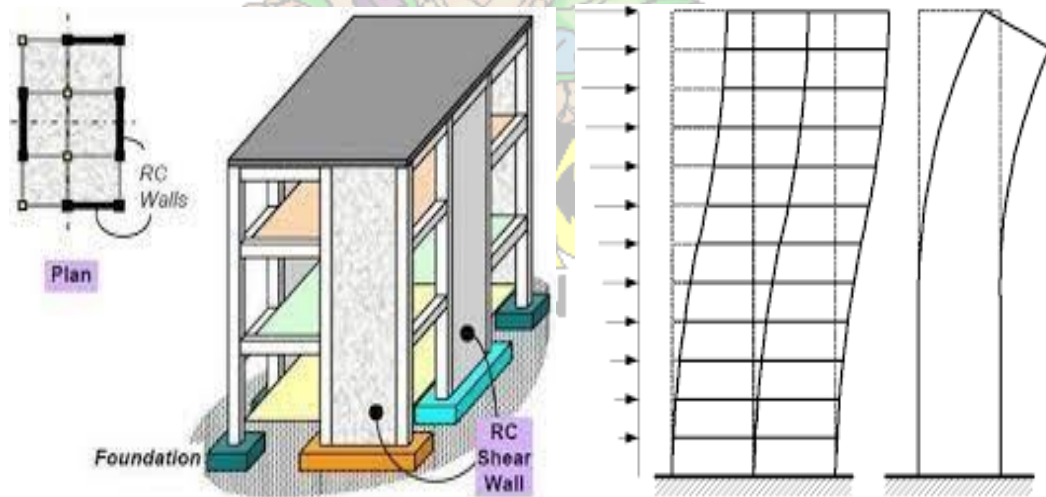
2.3.2 Dinding Geser

Shear wall atau dinding geser adalah dinding yang dirancang untuk menahan gaya lateral akibat gempa bumi dan angin. *Shear wall* sangat penting bagi bangunan bertingkat tinggi karena selain untuk mencegah kegagalan dinding eksterior, dinding geser juga mendukung beberapa lantai gedung dan memastikan bahwa struktur tidak runtuh akibat gerakan lateral saat gempa bumi. Berdasarkan geometrinya, dinding geser dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. *Flexural wall* (dinding langsing), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $hw/lw \geq 2$ dan desainnya dikontrol oleh perilaku lentur;
2. *Squat wall* (dinding pendek), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $hw/lw \leq 2$ dan desainnya dikontrol oleh perilaku geser;

3. *Coupled shear wall* (dinding berangkai), merupakan sepasang dinding menahan momen guling yang terjadi akibat beban gempa, yang dihubungkan oleh balok-balok perangkai, sebagai gaya-gaya tarik dan tekan yang bekerja pada masing-masing dasar pasangan dinding tersebut.

Dalam merencanakan dinding geser, perlu diperhatikan bahwa dinding geser yang berfungsi untuk menahan gaya lateral yang besar akibat beban gempa tidak boleh runtuh akibat gaya lateral, karena apabila dinding geser runtuh karena gaya lateral maka keseluruhan struktur bangunan akan runtuh karena tidak ada elemen struktur yang mampu menahan gaya lateral. Oleh karena itu, dinding geser harus didesain untuk mampu menahan gaya lateral yang mungkin terjadi akibat beban

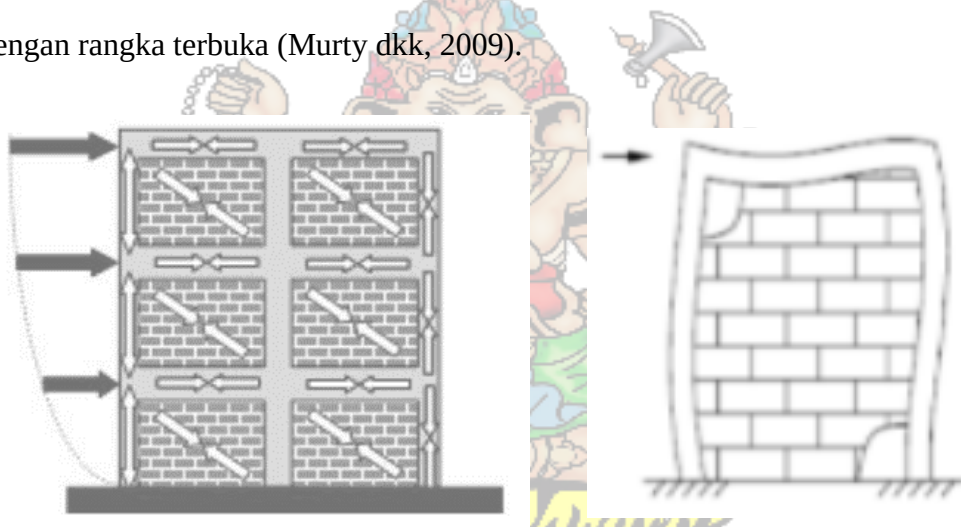


gempa.

Gambar 2.4 Dinding Geser
(Sumber: Murty, 2005)

2.3.3 Dinding Pengisi

Dinding pengisi pada struktur rangka sering dianggap sebagai komponen non struktur dan hanya berfungsi sebagai penutup rangka. Meskipun dianggap sebagai komponen non struktur, keberadaan dinding pengisi mempunyai kecenderungan berinteraksi dengan rangka yang ditempatinya terutama apabila terjadi gempa. Dinding pengisi memberikan sumbangan besar terhadap kekakuan dan kekuatan struktur sehingga perilaku keruntuhannya berbeda dibandingkan dengan rangka terbuka (Murty dkk, 2009).



Gambar 2.5 Dinding Pengisi
(Sumber: Paulay dan Priestley, 1992)

2.3.4 Bracing

Bracing merupakan elemen struktur penahan gaya lateral. Elemen ini berupa batang yang dipasang pada portal struktur. Karakteristik dari elemen ini adalah dominasi aksial yang terjadi ketika gaya lateral terjadi. Di mana pada saat gempa terjadi, gaya lateral yang diterima oleh struktur akan diteruskan pada elemen bracing ini sebagai gaya-gaya aksial. Secara umum bentuk *bracing* yang digunakan untuk struktur portal terdiri dari dua, yaitu

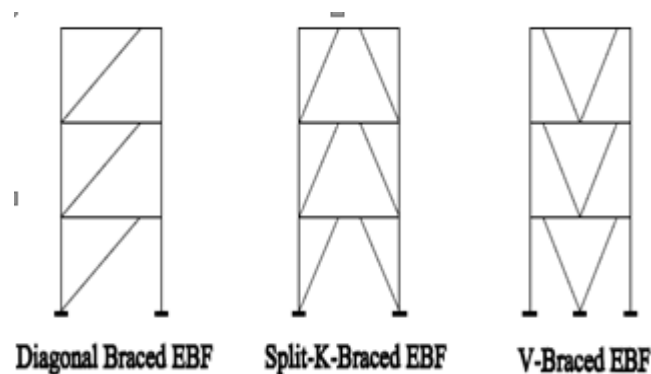
concentrically braced frame dan eccentrically braced frame.

(1) Sistem rangka *bracing konsentrik*

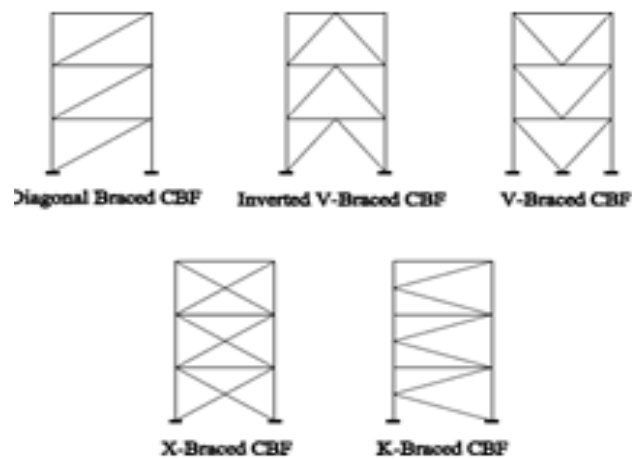
Kekakuan sistem ini terjadi akibat adanya elemen pengaku yang berfungsi sebagai penahan gaya lateral yang terjadi pada struktur. Penyerapan energi pada sistem ini dilakukan melalui pelelehan yang dirancang terjadi pada pelat buhul. Sistem ini daktilitasnya kurang begitu baik sehingga kegagalannya ditentukan oleh tekuk bracing.

(2) Rangka *bracing eksentrik*

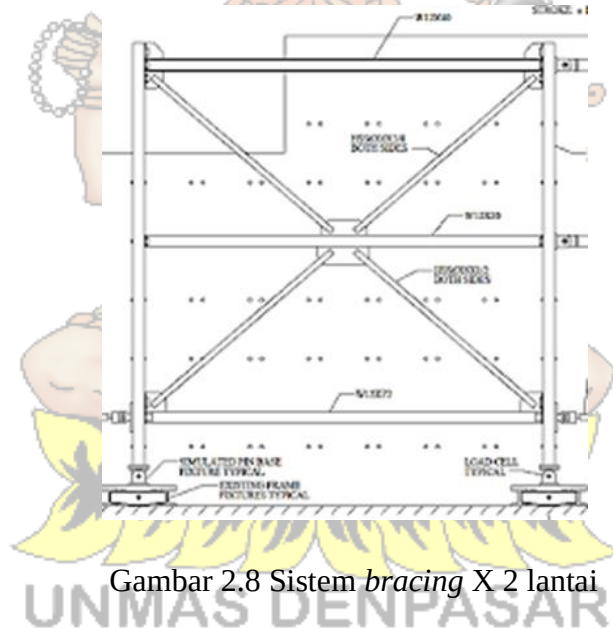
Pada sistem rangka bresing eksentrik, disingkat EBF, ada suatu bagian dari balok yang disebut link dan direncanakan secara khusus. EBF diharapkan dapat mengalami deformasi inelastis yang cukup besar pada link saat memikul gaya-gaya akibat beban gempa rencana karena element link tersebut berfungsi sebagai pendisipasi energi ketika struktur menerima beban gempa. Pendisipasi energi ini diwujudkan dalam bentuk plastifikasi pada elemen link tersebut. Hal tersebut yang menyebabkan sistem SRBE mempunyai nilai daktilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan SRBK yang lebih mengutamakan kekuatan strukturnya.



Gambar 2. 6 Rangka *Bracing* Eksentrik



Gambar 2. 7 Rangka *bracing* konsentrik



Gambar 2.8 Sistem *bracing* X 2 lantai

Sumber: (Bradley C, dkk, 2014)

2.4 Gaya Gempa

2.4.1 Statik Ekuivalen (SNI 03-1726-2019)

Analisis gaya lateral ekuivalen merupakan perhitungan yang disederhanakan dari beban gempa sebenarnya, penyederhanaan menjadi gaya horizontal diakibatkan dari gaya inersia yang bekerja di suatu massa akibat gempa.

Pembebanan gempa yang sebenarnya bersumber dari gerakan tanah di dasar, yang kemudian menjalar pada elemen bangunan. (Rifandi, 2020)

Perhitungan gaya geser seismic (V)

$$V = C_s W \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan : V = gaya geser

C_s = koefisien seismic

W = berat seismic efektif

Koefisien respon seismic, C_s, harus ditentukan dengan persamaan:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left[\frac{R}{I_e} \right]} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$\text{Jika } T \leq T_L \text{ maka } C_s = \frac{S_{D1}}{T \left[\frac{R}{I_e} \right]} \dots \dots \dots (2.7)$$

$$\text{Jika } T \geq T_L \text{ maka } C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left[\frac{R}{I_e} \right]} \dots \dots \dots (2.8)$$

$$\text{Jika } S_1 \geq 0,6 \text{ g maka nilai } C_s \text{ tidak boleh kurang } C_s = \frac{0,5 S_1}{\left[\frac{R}{I_e} \right]} \dots \dots \dots (2.9)$$

Nilai C_s < 0,044 SDS I_e ≥ 0,01

Keterangan: SD1 = parameter spektrum respons percepatan periode 1 detik

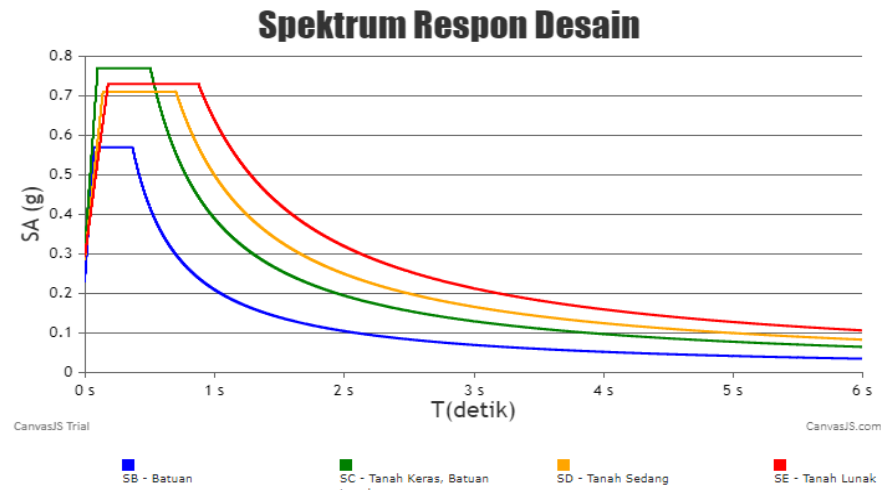
SDS = parameter spektrum respons percepatan periode pendek

R = faktor modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

2.4.2 Respon Spektrum

Pengertian Respon Spektrum adalah plot suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antar periode getar struktur T, lawan respons-respons maksimumnya untuk suatu rasio redaman dan beban gempa tertentu.

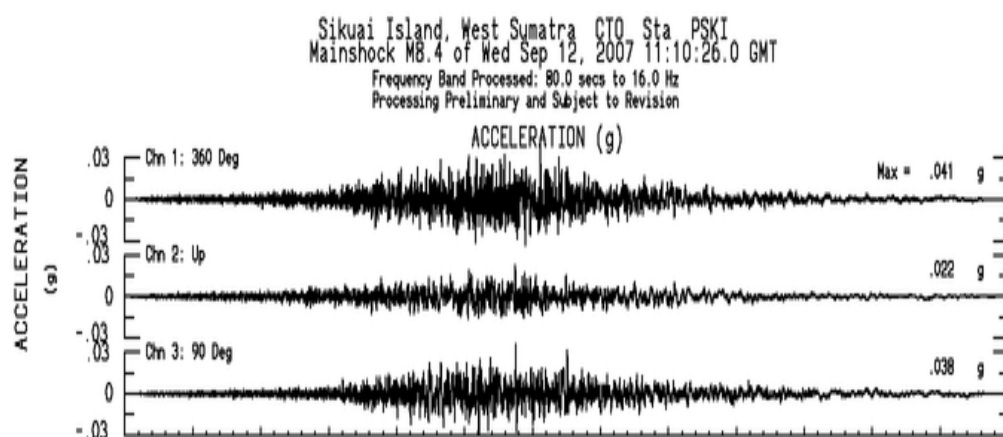


Gambar 2.9 Respons Spectrum
(Sumber: rsa.ciptakarya.pu.go.id, 2021)

Terdapat dua macam *respons spektrum* yaitu *respons spektrum* elastik dan *respons spektrum* inelastik. Spektrum elastik adalah suatu spektrum respons spektrum yang didasarkan atas respon elastik suatu struktur dengan SDOF, berdasarkan rasio redaman dan beban gempa tertentu. Sedangkan spektrum inelastik juga disebut desain respons spektrum yaitu spektrum diturunkan dari spektrum elastik dengan tingkat daktilitas tertentu (Khoeri, 2019).

2.4.3 Time History Analysis

Beban gempa merupakan fungsi dari waktu, sehingga respon yang terjadi pada struktur gedung juga tergantung dari waktu pembebanan. Akibat beban



Gempa Rencana maka struktur akan tetap berperilaku elastik untuk analisis linear dan berperilaku inelastik untuk analisis *nonlinear*. Biasanya analisis riwayat waktu lebih sering digunakan untuk kondisi *nonlinear*, namun tidak jarang juga digunakan untuk kondisi linear saja. Untuk mendapatkan respon struktur akibat pembebanan dari rekam *accelerograms*, (accelogram; perekaman akselerasi gerakan dasar bumi pada saat gempa terjadi) penggunaan modal analisis tidak dapat dilakukan, integrasi numerik langsung dengan memperhatikan truktur sebagai persamaan *couple* adalah dasar dari analisis *Time History* dimana metode integrasi yang umumnya digunakan adalah metode *Newmark*.

Gambar 2.10 Riwayat Waktu Gempa Sumatera Barat

(Sumber: Strongmotioncenter.org, 2007)

2.5 Time History Analisis

2.5.1 Metode Newmark Linier

Metode Newmark merupakan salah satu prosedur numerik yang biasa digunakan untuk menganalisa respon struktur terhadap beban gempa. Metode ini mempunyai dua parameter penting yaitu β dan γ , yang menetapkan variasi dari percepatan terhadap selang waktu dan menentukan karakteristik kestabilan dan akurasi dari metode tersebut. Apabila dipakai nilai $\gamma = 1/2$ dan $\beta = 1/4$, artinya digunakan prinsip metode percepatan rata-rata. Sedangkan apabila dipakai nilai $\gamma = 1/2$ dan $\beta = 1/6$, maka digunakan prinsip metode percepatan linear. Dan seperti metode numerik yang lain pada umumnya, kedua prinsip ini masing-masing juga

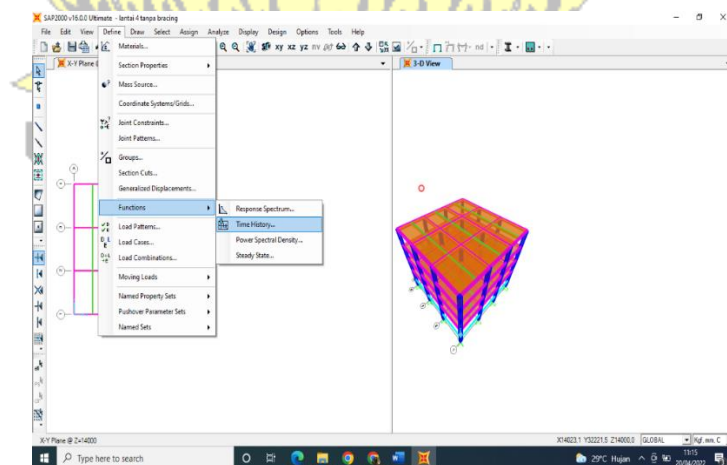
mempunyai tingkat kestabilan dan akurasi yang berbeda-beda (Rompas et al., 2015).

2.5.2 Faktor Redaman (*Damping Ratio*)

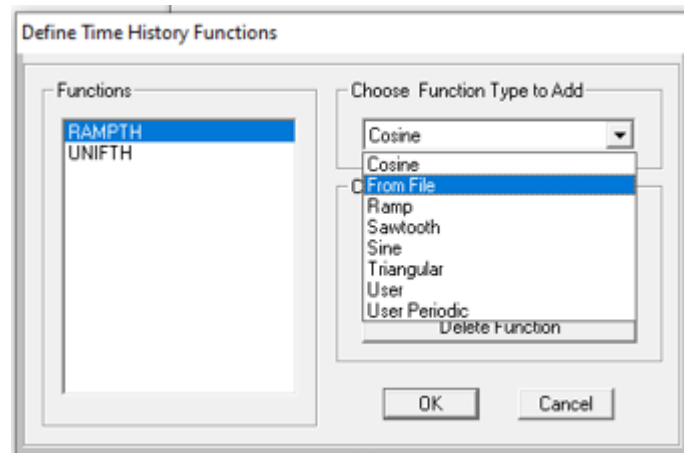
Redaman adalah peristiwa pelepasan energi oleh struktur yang disebabkan oleh berbagai macam sebab. Beberapa dari penyebab tersebut yaitu pelepasan energi oleh gesekan alat penyambung maupun sistem dukungan, pelepasan energi karena gerakan antar molekul dalam material, pelepasan energi oleh gesekan dengan udara, serta pada respons elastik pelepasan energi pun terjadi karena rotasi sendi plastis. Redaman akan mengurangi respons struktur karena ia berfungsi untuk melepaskan energi (Elrian, 2000).

2.5.3 Input Data Pada SAP2000

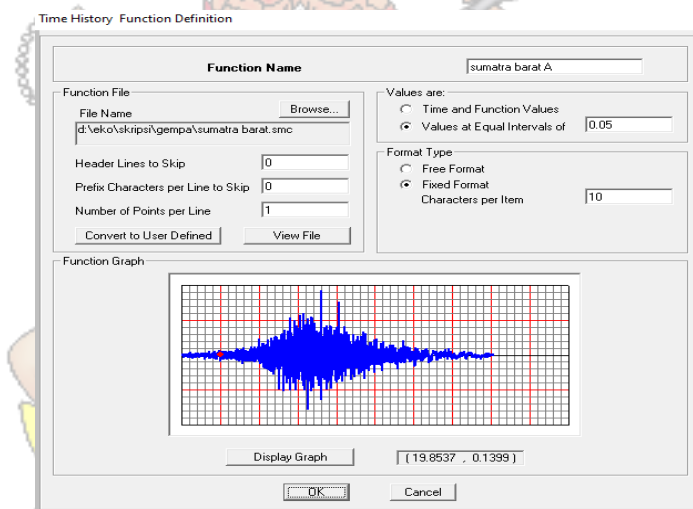
Dalam program SAP 2000, analisa beban dinamik dapat dilakukan dengan menggunakan *respon spektrum* dan *time history*.



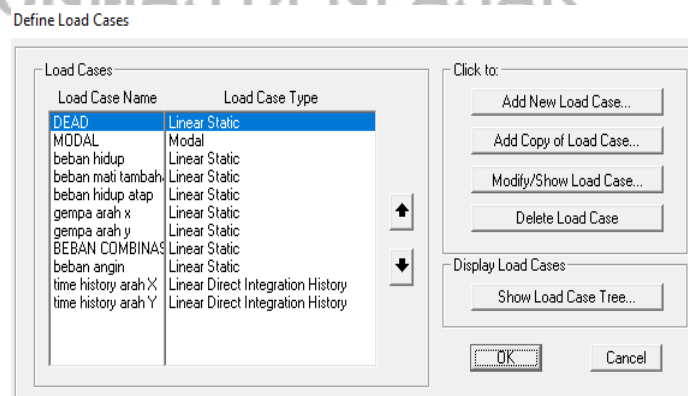
Gambar 2. 11 Menu *Time History* Pada SAP2000



Gambar 2. 12 Memilih tipe / lokasi data rekaman gempa



Gambar 2. 13 Pengaturan Data *Time History*



Gambar 2. 14 Mendefinisikan beban rekaman gempa

Load Case Data - Linear Direct Integration History

Load Case Name: [Time history arah X] Set Def Name: [] Notes: [] Modify/Show... []

Load Case Type: [Time History] Design... []

Stiffness to Use: ☒ Zero Initial Conditions - Unstressed State ☐ Stiffness at End of Nonlinear Case
Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Modal Load Case: [] Use Modes from Case: [MODAL] []

Analysis Type: ☒ Linear ☐ Nonlinear
History Type: ☒ Transient ☐ Periodic
Solution Type: ☐ Modal ☒ Direct Integration

Mass Source: [MSSSRCT]

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	sumatra barat	1000
Accel	U1	sumatra barat A	1000

Add [] Modify [] Delete []

☐ Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

Number of Output Time Steps: [100]
Output Time Step Size: [0.16]

Other Parameters:

Damping: [] Proportional Damping [] Modify/Show... []
Time Integration: [] Newmark [] Modify/Show... []

OK [] Cancel []

Gambar 2. 15 Pengaturan data Load Case

Set Load Cases to Run

Case Name	Type	Status	Action
DEAD	Linear Static	Not Run	Run
MODAL	Modal	Not Run	Do not Run
beban hidup	Linear Static	Not Run	Run
beban mati tambah	Linear Static	Not Run	Run
beban hidup atap	Linear Static	Not Run	Run
gempa arah x	Linear Static	Not Run	Run
gempa arah y	Linear Static	Not Run	Run
BEBAN COMBINAS	Linear Static	Not Run	Run
beban angin	Linear Static	Not Run	Run
time history arah X	Linear Direct Integration History	Not Run	Run
time history arah Y	Linear Direct Integration History	Not Run	Run

Click to:

Run/Do Not Run Case [] Show Case... [] Delete Results for Case []

Run/Do Not Run All [] Delete All Results [] Show Load Case Tree... []

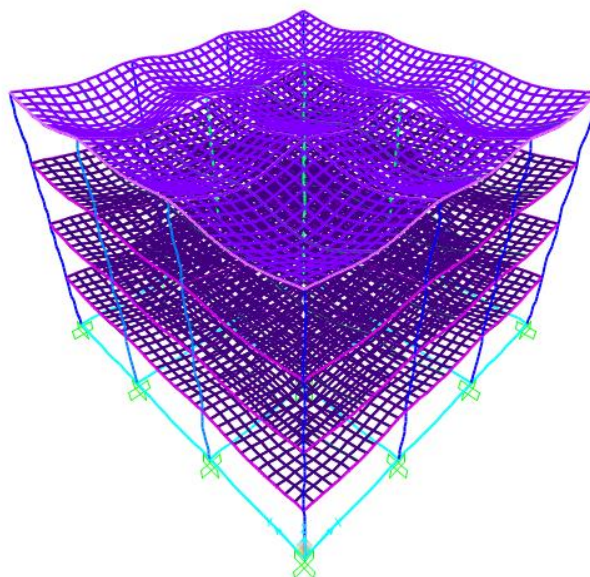
Analysis Monitor Options:

☐ Always Show ☐ Never Show ☒ Show After [4] seconds

☐ Model-Alive Run Now []

OK [] Cancel []

Gambar 2. 16 Pemilihan beban-beban yang akan diberikan pada model



Gambar 2. 17 Deformasi pada gedung setelah diberikan beban gempa

2.5.4 Rekaman Gempa Nias

Pulau Sumatra merupakan salah satu wilayah tektonik aktif. Subduksi yang terjadi antara lempeng Indo-Australia terhadap Eurasia menyebabkan *oblique konvergen* muncul. *Oblique konvergen* dibagi menjadi dua komponen, yaitu komponen dip-slip yang terdapat di zona subduksi antara lempeng, dan komponen strike-slip di sesar besar Sumatera (Natawidjaya, 2002).

Zona subduksi Sumatra merupakan jalur gempa bumi di Indonesia yang paling banyak menyerap dan mengeluarkan energi gempa bumi dengan magnitudo $M_w \geq 8$ SR, sehingga berpotensi menimbulkan tsunami (Newcomb dan McCann 1987). Salah satu segmen yang berada persis di atas zona megathrust (sumber gempa zona subduksi) dan pernah menimbulkan gempa bumi sampai membangkitkan tsunami adalah Nias dan Mentawai yang terletak di wilayah barat Sumatera. Gempa bumi Nias yang mengakibatkan tsunami terjadi pada 12 september 2007 dengan magnitudo M_w 8,4 (Natawijaya, 2007).

2.6 Analisis Dinamik

Analisis dinamik adalah analisis struktur dimana pembagian gaya geser gempa diseluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik dibagi menjadi 2 macam, yaitu

- a. Analisis ragam respon spektrum dimana total respon didapat melalui superposisi dari respon masing-masing ragam getar.
- b. Analisis riwayat waktu adalah analisis dinamis dimana pada model struktur diberikan suatu catatan rekaman gempa dan respon struktur dihitung

langkah demi langkah pada interval tertentu. Analisis dinamik untuk perancangan struktur tahan gempa dilakukan jika diperlukan evaluasi yang lebih akurat terhadap gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur, serta untuk mengetahui perilaku dari struktur akibat pengaruh gempa.

Analisis dinamik dilakukan pada perancangan struktur bangunan tingkat tinggi atau struktur dengan bentuk atau konfigurasi yang tidak teratur. Analisis dinamik dapat dilakukan dengan cara elastis maupun inelastis. Pada cara elastis dibedakan menjadi Analisis Ragam Riwayat Waktu (*Time History Modal Analysis*), dimana pada cara ini diperlukan rekaman percepatan gempa dan Analisis Ragam Spektrum Respon (*Respons Spectrum Modal Analysis*), dimana pada cara ini respon maksimum dari tiap ragam getar yang terjadi didapat dari Spektrum Respon Rencana atau Design Spectra (Purnomo, dkk, 2014).

2.7 Gempa Rencana, Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko Struktur Bangunan

Dalam BSN, (2019) gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 %. Gempa rencana yang mempunyai peluang 2 % (R_n 2 % dari periode 50 tahun dan pengaruh beban gempa dengan perilaku dinamis. Kategori risiko struktur bangunan dengan faktor keutamaan gempa rencana harus dikalikan dengan koefisien faktor keutamaan gempa I_e berdasarkan kategori risiko.

Tabel 2.1 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
-----------------	-------------------------------

I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber: BSN, 2019

Menurut BSN, (2019) kategori risiko untuk perumahan (Rumah Susun) adalah kategori resiko II dan faktor keutamaan gempa untuk kategori II, $I_e = 1,0$.

2.8 Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik adalah klasifikasi struktur yang berdasarkan seismik dan keparahan dari gempa sesuai dengan kelas situs nilai S_{DS} dan S_{D1} . Dalam BSN, (2019) berikut adalah tabel kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek dan periode 1 detik.

Tabel 2.2 Kategori Desain Seismik Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II	III atau IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: BSN, 2019

Tabel 2.3 Kategori desain seismik periode 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko
----------------	-----------------

	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: BSN, 2019

Nilai parameter respons spektrum yang berdasarkan Puskim, (2022) nilai S_{Ds} = 0,619 dan S_{D1} = 0,383.

$0,50 \leq 0,619$ adalah kategori risiko desain seismik = D (2.10)

$0,20 \leq 0,383$ adalah kategori risiko desain seismik = D (2.11)

Dari persamaan rumus diatas yang berdasarkan BSN, (2019) diketahui bahwa kategori desain seismik periode S_{Ds} dan S_{D1} adalah kategori D.

Tabel 2. 4 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter Percepatan Respons Spektral Desain Pada 1 Detik, S_{D1}	C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber : BSN, 2019

2.9 Periode Alami Fundamental

Periode alami fundamental (T) dalam BSN, (2019) tidak boleh melebihi hasil perhitungan koefisien untuk batasan periode yang dihitung (C_U) sesuai ketentuan. Periode fundamental dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan ;

h_n : Tinggi struktur (m)

T_a : Nilai batas bawah periode struktur

Tabel 2. 5 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	X
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 % gaya gempa yang diisyaratkan dan tidak di lingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai beban gempa		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber : BSN, 2019

2.10 Sistem Struktur Penahan Gempa

Menurut BSN, (2019) sistem pemikul gaya gempa horizontal dan vertikal harus memenuhi salah satu tipe sistem struktur dibawah ini.

Tabel 2. 6 Faktor R , Ω_0^b dan C_d^b untuk pemikul gaya gempa

Sistem	Koefisien	Faktor	Faktor	Batasan Sistem Struktur
--------	-----------	--------	--------	-------------------------

Penahan Gaya Seismik	Modifikasi Respons, R^a	Kuat Lebih Sistem, Ω_0^b	Pembesaran Defleksi, C_d^b	dan Tinggi Struktur, h^n				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI

Sumber: BSN, 2019

2.11 Simpangan Antar Tingkat

Berdasarkan BSN (2019), penentuan simpangan antar tingkat desain harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Simpangan pusat massa di tingkat- x harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 2.13 berikut:

$$\delta x = \frac{C_d \delta x_e}{I_e} \dots \dots \dots (2,13)$$

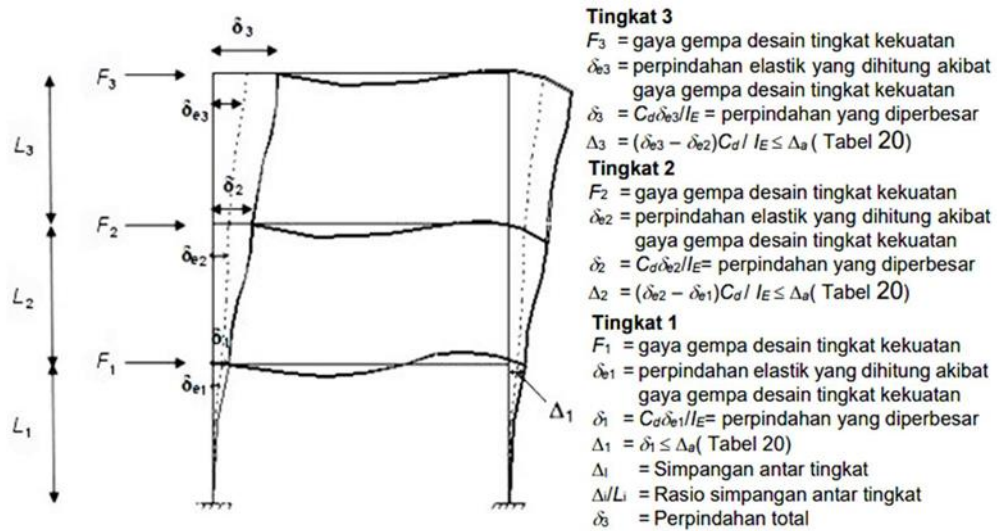
Keterangan: C_d : faktor amplifikasi defleksi

δx_e : defleksi pada lokasi yang diisyaratkan dengan analisis elastis

I_e : faktor keutamaan gempa

Δa : Simpangan antar lantai

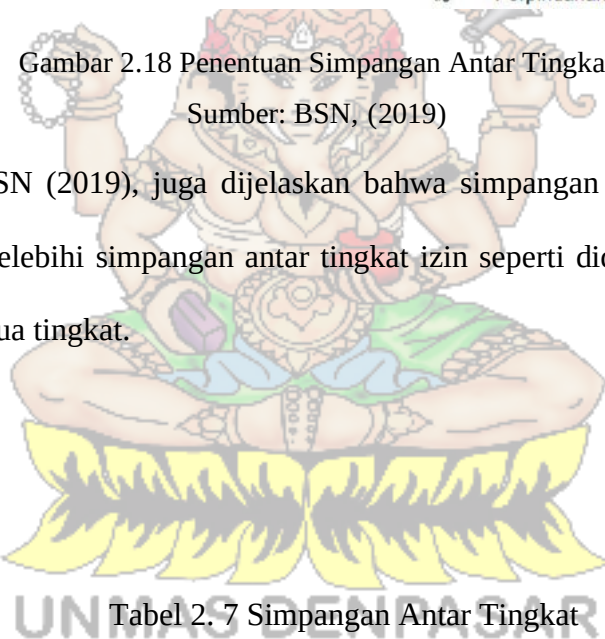
Dari persamaan rumus diatas berikut ini adalah gambar simpangan antar tingkat yaitu :



Gambar 2.18 Penentuan Simpangan Antar Tingkat

Sumber: BSN, (2019)

Dalam BSN (2019), juga dijelaskan bahwa simpangan antar tingkat desain tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin seperti didapatkan pada Tabel 2.1 untuk semua tingkat.



Tabel 2. 7 Simpangan Antar Tingkat

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasikan simpangan antar tingkat	$0,025h_{sx}^c$	$0,020 h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020 h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Sumber : BSN, (2019)

2.12 Aplikasi SAP2000

Aplikasi SAP2000 adalah aplikasi yang digunakan untuk menganalisis struktur. Dibuat oleh Computer and Science, Inc. (CSI) dari Berkeley, California, Amerika Serikat.

2.13 Penelitian Terkait

1. (Kusuma, 2021), Analisis riwayat waktu gempa terhadap perilaku struktur Gedung empat tingkat (studi kasus: Gedung A fakultas ekonomi universitas udayana). Berdasarkan Time History Analysis terhadap beban gempa Elcentro, gempa Kobe, dan Gempa Chi-chi cenderung dalam kategori aman. Gaya geser dasar didapat dengan Time History analysis yang tertinggi pada arah X yaitu gempa Kobe $X = 1610,226 \text{ kN}$ sedangkan pada arah Y yaitu gempa Kobe $Y = 1854,099 \text{ kN}$. Gaya geser dasar yang terjadi akibat ke tiga jenis gempa tersebut lebih kecil dari gaya geser dasar berdasarkan SNI 1726-2012.
2. (Candra, 2021), Analisis perilaku struktur Gedung fakultas pariwisata universitas udayana akibat beban gempa dengan metode respon spektrum. Simpangan antar tingkat dan gaya geser dasar pada gedung berdasarkan gaya gempa rencana dari analisis respon spektrum arah X dan Arah Y memenuhi persyaratan SNI 1726:2012 yaitu simpangan antar tingkat yang terjadi pada struktur Gedung lebih kecil dari pada simpangan antar tingkat yang diizinkan. Adapun gaya geser yang terjadi pada struktur pada arah X sebesar $1175,46 \text{ kN}$ dan pada arah Y sebesar $1224,65 \text{ kN}$.

3. (Rahmawati dan Khatulistiani, 2019), Analisis drif Gedung struktur baja tahan gempa menggunakan two stori-X *bracing* dan X *bracing* di Surabaya. Model kombinasi 1 dengan two story-x bracing pada lantai 1-4 dan x bracing pada lantai 5-8, didapatkan total nilai simpangan horisontal sebesar 0,102 m. Model kombinasi 2 dengan two story-x bracing pada lantai 5-8 dan x bracing pada lantai 1-4, didapatkan total nilai simpangan horisontal sebesar 0,107 m. Model kombinasi 3 dengan two story-x bracing pada lantai 3-6 dan x bracing pada lantai 1-2 dan 7-8, didapatkan total nilai simpangan horisontal sebesar 0,106 m.

