



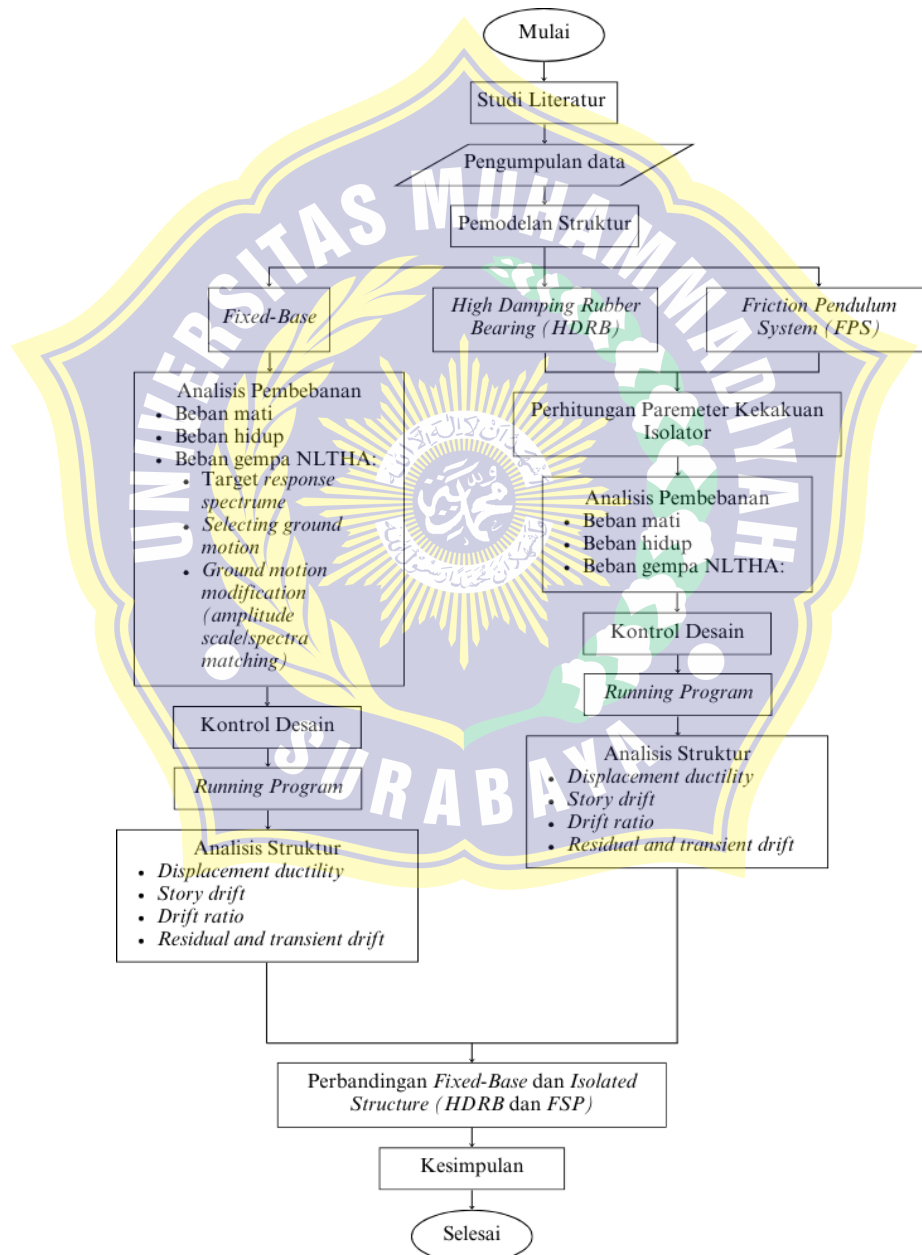
**BAB III**  
**METODOLOGI PENELITIAN**

# BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir

Metode penelitian mengenai Analisis Struktur Perbandingan Gedung Menggunakan *Base Isolation High Damping Rubber Bearing (HDRB)* dan *Friction Pendulum System (FPS)* dengan metode gempa *Nonlinear Time History Analysis (NLTHA)* dirangkum dalam diagram alir yang terlihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.

Sumber: Analisis (2025)

## 3.2 Metode Penelitian

### 3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur adalah metode pengumpulan data sekunder yang dilakukan dengan menelusuri sumber-sumber tulisan yang pernah dibuat sebelumnya. Studi literatur juga dikenal dengan sebutan studi pustaka.

Tujuan dari studi literatur adalah untuk:

- Mendapatkan landasan teori mengenai masalah yang akan diteliti
- Mengungkap teori yang relevan dengan permasalahan yang sedang diteliti
- Memperdalam pengetahuan peneliti mengenai masalah dan bidang yang akan diteliti

Referensi yang digunakan pada tugas akhir ini terdiri dari:

1. Iffah Ariqoh Fakrunnisa, dkk. Analisis Kinerja *High Damping Rubber Bearing* dan *Lead Rubber Bearing* pada Bangunan Beton Bertulang. Jurnal Teknik Sipil. Universitas Jember. 2021
2. *Student and Professor of Civil Engineering, Response of High Rise Building With Lead Rubber Bearing, High Damping Rubber Bearing and Friction Pendulum System. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) Vol.09.2022*
3. Lesmana, Yudha. *Handbook Basic Theory Nonlinear Time History Analysis (NLTHA)* Berdasarkan SNI 1726-2019, FEMA, NIST, & ASCE/SEI-41. 2023.
4. SNI 1726-2019. Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
5. SNI 2847-2019. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.

### 3.2.2 Pengumpulan Data

#### Spesifikasi Data Perencanaan

Nama Gedung	: Gedung Perkuliahan
Lokasi	: Surabaya
Fungsi	: Perkuliahan
Sruktur Utama	: Beton Bertulang
Jumlah Lantai	: 7 Lantai
Sistem Rangka	: SRPMK
Jenis Tanah	: Tanah Sedang (SD)

#### Spesifikasi Data Modifikasi

Lokasi	: Aceh
--------	--------

#### Spesifikasi Data Material

Mutu Beton ( $f'_c$ )	: 30 MPa
Mutu Tulangan Utama ( $f_y$ )	: 400 MPa
Mutu Tulangan Geser ( $f_y$ )	: 240 MPa
Diameter Tulangan Utama ( $D_1$ )	: D25 mm dan D16mm
Diameter Sengkang ( $\phi_s$ )	: $\phi 13$ mm dan $\phi 8$ mm
$E_c$	: $4700 \sqrt{f'_c} = 25.741$ MPa
$E_s$	: 200.000 MPa

### 3.2.3 Pemodelan Struktur

Pada tahap ini, dilakukan pemodelan struktur gedung perkuliahan 7 lantai menggunakan perangkat lunak ETABS V18 untuk mengevaluasi perilaku dinamis struktur dengan sistem *fixed base*, *High Damping Rubber Bearing (HDRB)*, dan *Friction Pendulum System (FPS)*. Pemodelan ini bertujuan untuk mendapatkan representasi yang akurat dari perilaku struktur saat menghadapi beban gempa.

#### 1. Pemodelan Sistem *Fixed Base*

Pemodelan sistem *fixed base* seperti pada Gambar 3.2 dan detailnya pada Gambar 3.3 dilakukan dengan asumsi bahwa struktur terhubung langsung dengan pondasi tanpa mekanisme isolasi. Langkah-langkah yang dilakukan mencakup:

- **Membangun Model 3D Struktur:** Gambar 3D gedung 7 lantai dibuat, mencakup semua elemen struktur seperti balok, kolom, dan pelat lantai, dengan memperhatikan dimensi geometris sesuai rancangan teknis.
- **Pemasukan Material dan Sifat Penampang:** Material beton bertulang digunakan untuk elemen struktural dengan spesifikasi mutu beton dan baja tulangan yang sesuai dengan standar. Sifat penampang balok, kolom, dan pelat lantai dimasukkan, termasuk kekakuan dan kapasitasnya.
- **Pendefinisian Beban:** Beban gravitasi (mati dan hidup) dan beban gempa dihitung sesuai dengan SNI 1726-2019. Beban gempa diterapkan dengan metode *time history* berdasarkan rekaman gempa tertentu.

#### 2. Pemodelan Sistem *High Damping Rubber Bearing (HDRB)*

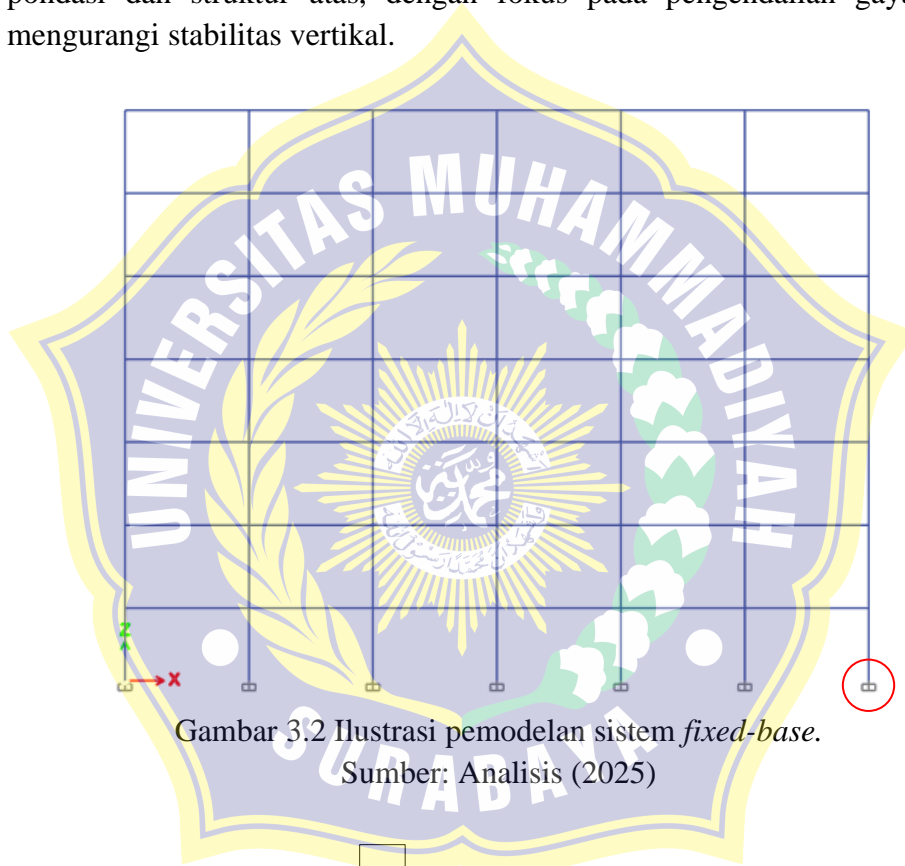
Untuk sistem *High Damping Rubber Bearing (HDRB)*, struktur dimodelkan dengan menambahkan elemen isolator di antara pondasi dan struktur atas seperti pada Gambar 3.4 dan detailnya seperti pada Gambar 3.5. Langkah-langkahnya meliputi:

- **Penambahan Elemen *High Damping Rubber Bearing (HDRB)*:** Isolator *High Damping Rubber Bearing (HDRB)* dimasukkan sebagai elemen non-linear dengan sifat mekanis seperti kekakuan lateral, kekakuan vertikal, kapasitas deformasi, dan koefisien redaman sesuai dengan spesifikasi pabrik atau data literatur.
- **Kalibrasi Sifat *Non-Linear*:** Model *High Damping Rubber Bearing (HDRB)* dikalibrasi untuk memperhitungkan deformasi non-linear yang terjadi selama gempa, termasuk histeresis redaman energi.
- **Pengaturan Interaksi Struktur-Isolator:** Interaksi antara isolator dan struktur atas diatur sehingga gerakan horizontal dapat diserap oleh *High Damping Rubber Bearing (HDRB)* tanpa memengaruhi stabilitas vertikal struktur.

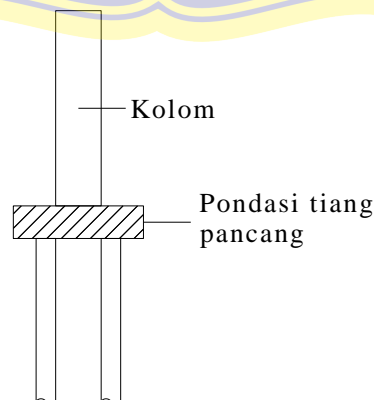
#### 3. Pemodelan Sistem *Friction Pendulum System (FPS)*

Pada pemodelan *Friction Pendulum System (FPS)*, elemen isolator pendulum dimasukkan untuk mensimulasikan mekanisme gesekan melingkar yang menjadi karakteristik utama sistem ini (dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan detailnya seperti pada Gambar 3.7). Tahapan pemodelannya adalah:

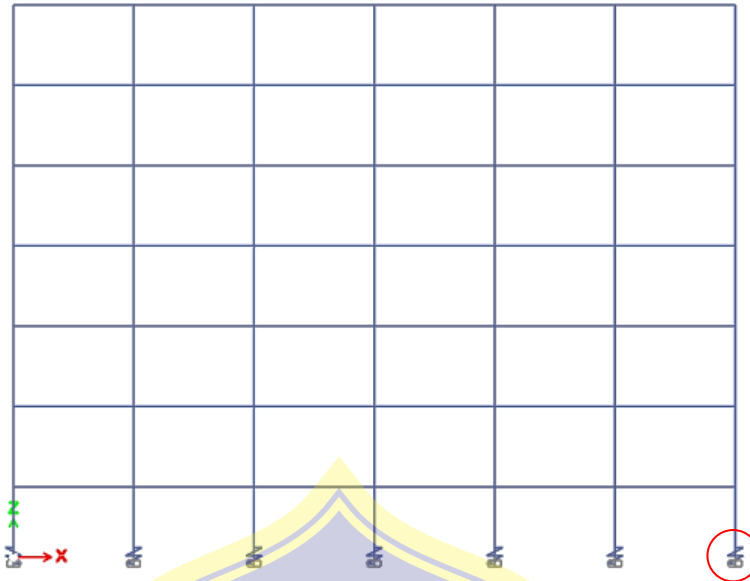
- **Penambahan Elemen *Friction Pendulum System (FPS)*:** Isolator *Friction Pendulum System (FPS)* dimasukkan sebagai elemen dengan kurva melingkar yang merepresentasikan lintasan gerak pendulum. Parameter seperti jari-jari kelengkungan, koefisien gesek, dan kapasitas perpindahan maksimum diatur sesuai desain.
- **Definisi Sifat *Non-Linear*:** Perilaku *non-linear Friction Pendulum System (FPS)*, termasuk mekanisme histeresis akibat gesekan, dimodelkan untuk mencerminkan pengurangan energi gempa melalui pergesekan pada isolator.
- **Pengaturan Interaksi Struktur-Isolator:** Sama seperti *High Damping Rubber Bearing (HDRB)*, elemen *Friction Pendulum System (FPS)* diposisikan di antara pondasi dan struktur atas, dengan fokus pada pengendalian gaya lateral tanpa mengurangi stabilitas vertikal.



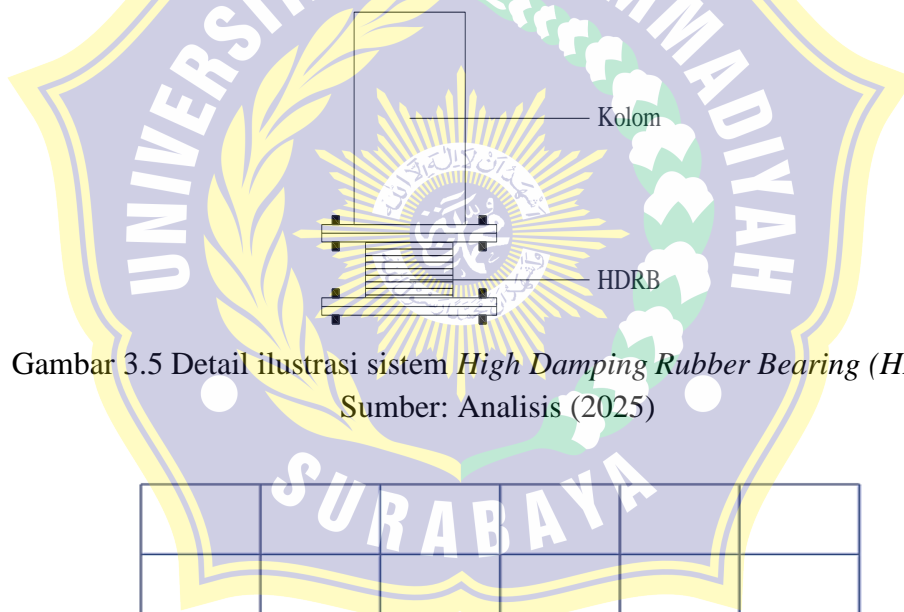
Gambar 3.2 Ilustrasi pemodelan sistem *fixed-base*.  
Sumber: Analisis (2025)



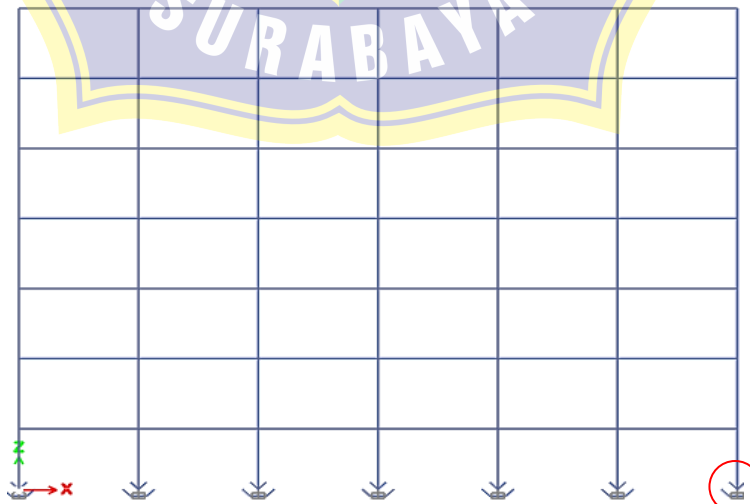
Gambar 3.3 Detail ilustrasi sistem *fixed-base*.  
Sumber: Analisis (2025)



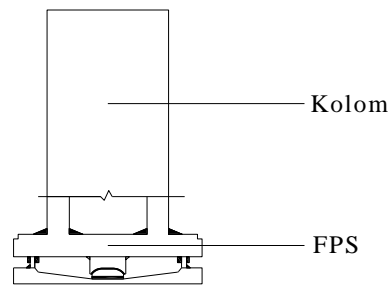
Gambar 3.4 Pemodelan sistem *High Damping Rubber Bearing (HDRB)*.  
 Sumber: Analisis (2025)



Gambar 3.5 Detail ilustrasi sistem *High Damping Rubber Bearing (HDRB)*.  
 Sumber: Analisis (2025)



Gambar 3.6 Pemodelan sistem *Friction Pendulum System (FPS)*.  
 Sumber: Analisis (2025)



Gambar 3.7 Detail ilustrasi sistem *Friction Pendulum System (FPS)*.  
Sumber: Analisis (2025)

#### 4. Analisis dan Simulasi

Setelah pemodelan masing-masing sistem selesai, dilakukan analisis menggunakan metode *Nonlinear Time History Analysis (NLTHA)*. Rekaman gempa dengan berbagai intensitas dan spektrum frekuensi digunakan sebagai input untuk mensimulasikan respons dinamis struktur. Data seperti gaya geser dasar, perpindahan antar lantai, percepatan lantai, dan deformasi isolator dianalisis untuk setiap sistem.

#### 5. Validasi dan Pengujian

Pemodelan ini divalidasi dengan membandingkan hasil analisis dengan studi literatur yang relevan atau data eksperimental jika tersedia. Validasi bertujuan memastikan akurasi pemodelan dalam merepresentasikan perilaku struktur dengan sistem *fixed base*, *High Damping Rubber Bearing (HDRB)*, dan *Friction Pendulum System (FPS)*.

### 3.2.4 Analisis Pembebanan

Fase ini menentukan jenis beban yang akan dimasukkan ke dalam model struktur pada perangkat lunak, meliputi beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Beban mati mencakup berat sendiri struktur serta elemen tambahan seperti dinding, *MEP*, *MEE*, spesi, dan *finishing* lainnya. Beban hidup mengikuti ketentuan SNI 1727-2020; Tabel 4.3.3; Hal 26-29. Untuk analisis kinerja *Nonlinear Time History Analysis (NLTHA)*, diperlukan beberapa tahapan khusus untuk menetapkan beban seismik yang akan digunakan dalam pemodelan. Adapun tahapannya sebagai berikut.

#### a. Menentukan *type of performance assessment*

Memilih tipe *performance assessment* merupakan tahap awal dan sangat penting dalam proses analisis *Nonlinear Time History Analysis (NLTHA)*. Karena akan mempengaruhi proses analisis, khususnya pada tahap menentukan *target response spectrum*, *selecting ground motion*, dan *ground motion modification (scaled atau matching)*. Adapun tipe dari *performance assessment* (penilaian kinerja) terdiri dari tiga macam yaitu:

- *Intensity-based assessment*
- *Scenario-based assessment*
- *Time-based assessment*

Dari ketiga tipe tersebut, pada analisis kali ini menggunakan metode *intensity-based assessment*. *Intensity-based assessment* memiliki 3 metode dalam menentukan target

*response spectrum*, yaitu *Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)*, *Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA)*, dan *code (ASCE, SNI 1726, dll)*. Dari ketiga pilihan tersebut, analisis ini akan mengacu berdasarkan *code (ASCE 7, SNI 1726-2019)* dalam menentukan *target response spectrum*.

b. Menentukan *target response spectrum*.

Setelah menentukan tipe dari *performance assessment* yang akan digunakan dan dipermodelkan struktur pada *software* selesai, langkah selanjutnya adalah menentukan *response spectrum* yang akan dijadikan “*target*” untuk proses *scaling/matching*. Dalam analisis ini menggunakan proses *matching* untuk menentukan *response spectrum*. Inilah yang menjadi perbedaan dari ketiga tipe *performance assessment* tersebut. Dengan kata lain, tipe *performance assessment* memiliki cara tersendiri dalam menentukan *target response spectrum* yang akan digunakan. Pada analisis ini, metode yang akan digunakan adalah *intensity-based assessment*.

c. *Selecting ground motion*

Tahap selanjutnya adalah proses menentukan rekaman gempa (*ground motion*) yang akan digunakan pada analisis *Nonlinear Time History Analysis (NLTHA)*. Pada tahap ini, banyak sekali pertimbangan yang akan dilakukan saat menentukan *ground motion*. Mulai dari jumlah *ground motion*, besar intensitas gempa (*M<sub>w</sub>*), lokasi rekaman *ground motion*, jarak dari pusat gempa, durasi gempa dan bentuk *spectra* dari *ground motion* itu sendiri. Adapun data *ground motion* yang akan dipilih pada kasus ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

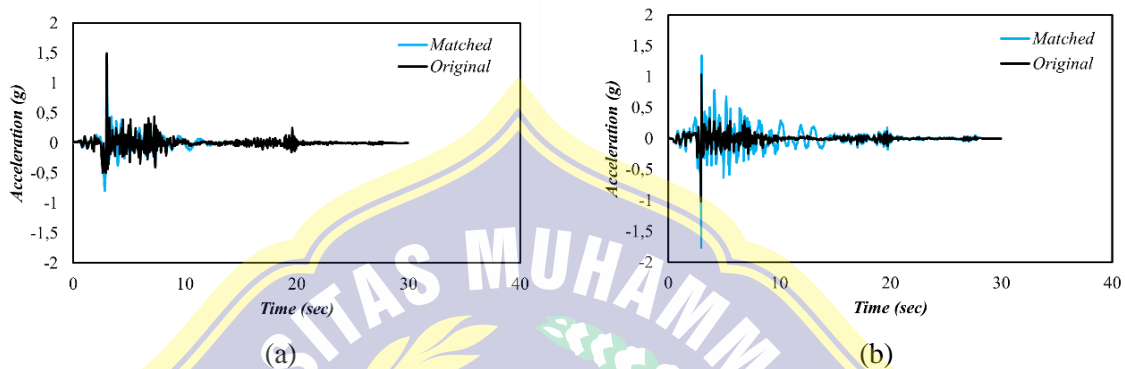
Tabel 3.1 *Ground motion nonlinier time history analysis.*

No.	Earthquake	Year	Station	Magnitude ( <i>M<sub>w</sub></i> )	Distance (km)	<i>V<sub>s30</sub></i> (m/s)
1.	Cape Mendocino RSN825	1992	Cape Mendocino	7,01	6,96	567,78
2.	Kern Country RSN12	1952	LA-Hollywood Stor FF	7,36	117,75	316,46
3.	Kobe RSN1100	1995	Abeno	6,9	24,85	256
4.	Kobe RSN1101	1995	Amagasaki	6,9	11,34	256,0
5.	Kocaeli RSN1176	1999	Yamrica	7,51	4,83	297,0
6.	Landers RSN860	1991	Hemet Fire Station	7,28	68,66	328,09
7.	Morgan Hill RSN451	1984	Coyote Lake Dam-Southwest Abutment	6,19	0,53	561,43
8.	Niigata RSN4151	1978	FKS020	6,63	101,86	133,05
9.	Northridge-01 RSN982	1994	Jensen Filter Plant Administrative Building	6,69	5,43	373,07
10.	San Fernando RSN52	1971	Anza Post Office	6,61	173,16	360,45
11.	Tabas RSN141	1978	Kashmar	7,35	194,55	280,26

Sumber: <https://ngawest2.berkeley.edu/>.

d. *Modification of ground motion*

Setelah ditentukan *ground motion* yang akan digunakan, maka tahap selanjutnya adalah melakukan *modification of ground motion* terhadap *ground motion* yang dipilih. Hal ini dilakukan guna “menyamakan” intensitas gempa dari *ground motion* yang dipilih terhadap daerah yang akan ditinjau dengan mengacu pada *target response spectrum* yang telah ditentukan sebelumnya. Umumnya, metode *modification* ini dibagi menjadi dua, yaitu: *amplitude scaled* dan *spectra matching*. Pada kasus kali ini menggunakan metode *spectra matching*. Grafik modifikasi *ground motion* dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 *Ground motion Cape Mendocino\_RSN825*; (a) arah-X; (b) arah-Y.  
Sumber: Analisis (2025)

e. *Define load*

Setelah tahap sebelumnya selesai, maka langkah selanjutnya adalah menentukan beban yang akan dianalisis selama proses *Nonlinear Time History Analysis (NLTHA)*. Beban yang dimaksud disini bukan hanya beban gempa, namun juga beban *gravity (dead load dan live load)*. Beban *gravity* diinput pada *frame* sesuai konsep pembebanan yang digunakan tanpa faktor/koefisien. Selanjutnya mendefinisikan *ground motion (GM)* sebagai beban gempa kedalam *software*. Dalam kasus *Nonlinear Time History Analysis (NLTHA)*, beban gempa yang diperoleh dari *ground motion* akan didefinisikan sebagai beban gempa *nonlinier* sehingga proses *running* nantinya akan menghitung struktur secara *nonlinier*.

f. *Running*

Saat *define load* telah selesai dilakukan, selanjutnya adalah proses *running* dengan *software*. Lama waktu yang dibutuhkan untuk *running* berbeda-beda tiap kasus yang bergantung pada banyak faktor. Faktor yang mempengaruhi lamanya proses *running Nonlinear Time History Analysis (NLTHA)* adalah:

1. Tingkat kerumitan struktur gedung yang dianalisis, baik dari segi bentuk, jumlah elemen struktur, maupun dari segi ketinggian gedung.
2. Jumlah *ground motion* yang digunakan dalam proses *running*. Bila mengacu pada *ASCE 7-16*, jumlah minimal *ground motion* yang digunakan adalah 11 *ground motion* dan tiap *ground motion* memiliki dua komponen pada arah-X dan arah-Y.

sehingga total *ground motion* yang dianalisis adalah minimal 22 *ground motion*. Pada kasus tertentu, penggunaan *ground motion* bisa mencapai 30 *ground motion* sehingga total bisa mencapai 60 *ground motion*.

3. Spesifikasi komputer yang digunakan. Seperti yang telah dijelaskan pada bab awal, bahwa dalam proses *Nonlinear Time History Analysis (NLTHA)* membutuhkan perangkat *hardware* yang memadai. Sebagai patokan minimal untuk melakukan *Nonlinear Time History Analysis (NLTHA)* adalah *RAM 8GB, processor Core-i5, dan memory 500 GB*.

Dalam tahap awal proses *running*, disarankan untuk tidak melakukan *running* sekaligus untuk semua *ground motion*. Hal ini dilakukan hanya sebagai *tricky*, agar saat terjadi *error* dalam proses *running*.

### 3.2.5 Analisis Struktur (*fixed-base*)

Tahap ini merupakan tahapan terpenting dari *Nonlinear Time History Analysis (NLTHA)* yang dimana seorang *engineer* harus bisa memberikan kesimpulan dan penilaiannya (*assessment*) terhadap perilaku struktur yang dianalisis. Untuk menentukan penilaian (*assessment*) maka dibutuhkan patokan atau tolak ukur yang dijadikan acuan dalam penilaian. Patokan tersebut biasa dikenal dengan istilah *performance assessment* (penilaian kinerja) dan *acceptance criteria* (kriteria penilaian).

Bila struktur tersebut tidak memenuhi kriteria yang disyaratkan, maka ada beberapa alternatif antara lain:

1. Dilakukan penguatan pada struktur atau elemen struktur sehingga struktur mampu memenuhi kriteria yang disyaratkan.
2. Melakukan modifikasi struktur agar pengaruh beban gempa yang masuk pada gedung bisa direduksi secara signifikan.
3. Namun bila dua alternatif diatas tersebut tidak memungkinkan, maka pilihan terakhir adalah struktur gedung tersebut harus dihancurkan dan dibangun struktur baru, karena dinilai sudah tidak layak/tidak memenuhi standar keamanan.

Pada tahap ini diantara *performance assessment* dan *acceptance criteria* yang akan dicek diantaranya adalah *displacement ductility, story drift, story drift ratio, residual and transient drift, overstrength* dan *reduction factor*. Adapun penjelasan dari beberapa item tersebut sebagai berikut.

#### 3.2.5.1 Displacement Ductility

*Displacement ductility* ini adalah membandingkan *displacement* maksimum ( $\Delta_m$ ) terhadap *displacement* ketika struktur mengalami leleh pertama kali ( $\Delta_y$ ). Adapun persamaan dalam menyatakan *displacement ductility* ini adalah sebagai berikut.

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_m}{\Delta_y} \quad (3.1)$$

dimana:

- $\mu_{\Delta}$  = Displacement ductility.
- $\Delta_m$  = Maximum displacement ( $\Delta_m = \Delta_y + \Delta_p$ ).
- $\Delta_y$  = Yield displacement.

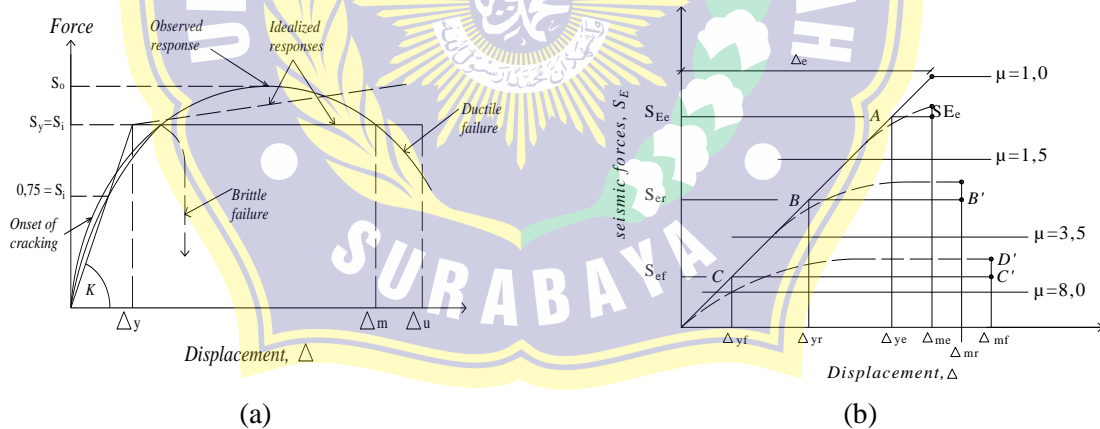
Dengan nilai daktilitas yang diperoleh dari persamaan (3.1), dapat diketahui tingkat daktilitas struktur yang didesain. Adapun hubungan antara nilai daktilitas dengan *strength*, dapat dilihat pada Gambar 3.9(a) dan Gambar 3.9(b). Dari gambar tersebut dapat disimpulkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Displacement ductility parameters.

<b>Displacement Ductility Parameters</b>	
<b>Range</b>	<b>Response</b>
$\mu_{\Delta} \leq 1,0$	<i>Ideal elastic response</i>
$1,0 \leq \mu_{\Delta} \leq 1,5$	<i>Essentially elastic response</i>
$1,5 \leq \mu_{\Delta} \leq 3,5$	<i>Restricted ductility</i>
$3,5 \leq \mu_{\Delta} \leq 8,0$	<i>Fully ductile response</i>
$\mu_{\Delta} > 8,0$	<i>Ductility beyond useble limit</i>

Sumber: Lesmana (2020)

Dari kelima kategori di atas, *Fully ductile response* adalah tingkatan yang sangat diharapkan dalam struktur tahan gempa yang didesain.



Gambar 3.9 (a) Hubungan kekuatan dan daktalitas pada *displacement ductility*; (b) Hubungan kekuatan dan daktalitas pada tingkat daktalitas.

Sumber: Lesmana (2020)

### 3.2.5.2 Story Drift

*Story drift* merupakan perpindahan lateral relatif antara dua tingkat bangunan yang berdekatan atau simpangan mendatar (*horizontal*) tiap tingkat bangunan yang diukur dari lantai bawahnya. Nilai *story drift* dapat dilihat pada *output hasil running* desain bangunan pada *software ETABS*.

### 3.2.5.3 Story Drift Ratio

*Story drift ratio* merupakan perbedaan nilai simpangan antara dua tingkat yang berdekatan yang dibagi dengan tinggi antar tingkat pada gedung tersebut, Adapun rumus dari *story drift ratio* dapat dilihat pada persamaan 3.2. Selain itu ilustrasi dari konsep *story drift ratio* dapat dilihat pada Gambar 3.10.

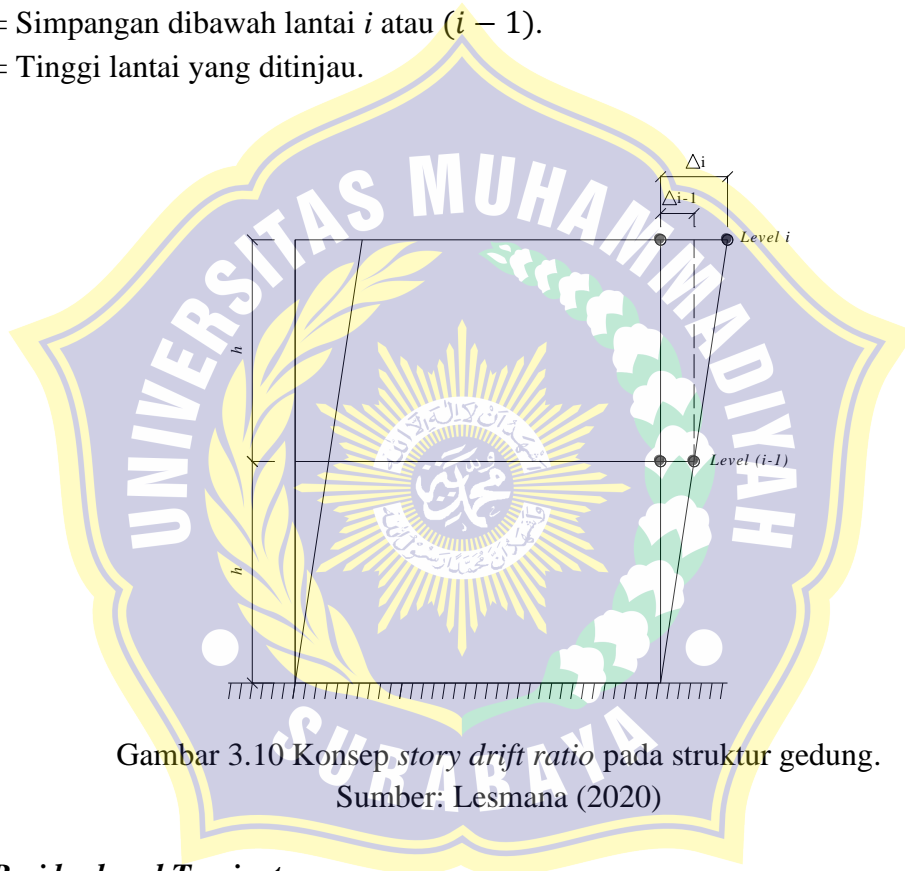
$$\text{Drift Ratio} = \frac{\Delta_i - \Delta_{i-1}}{h} \quad (3.2)$$

Dimana:

$\Delta_i$  = Simpangan pada lantai  $i$ .

$\Delta_{i-1}$  = Simpangan dibawah lantai  $i$  atau  $(i - 1)$ .

$h$  = Tinggi lantai yang ditinjau.



Gambar 3.10 Konsep *story drift ratio* pada struktur gedung.  
Sumber: Lesmana (2020)

### 3.2.5.4 Residual and Transient

*FEMA P-58-1* membagi menjadi dua kategori yaitu *transient* dan *residual*. *Transient story drift ratio* adalah perubahan simpangan sementara ditiap lantainya saat setelah terjadi gempa dan *residual story drift ratio* adalah perubahan simpangan dikarenakan terjadinya simpangan tambahan yang bersifat permanen saat setelah terjadinya gempa. *Residual* dan *transient drift* untuk menentukan tingkat *damage state* terhadap struktur gedung. Adapun persamaan *transient story drift ratio* adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \Delta_r &= 0; \Delta \leq \Delta_y \\ \Delta_r &= 0,3(\Delta - \Delta_y); \Delta_y < \Delta < 4\Delta_y \\ \Delta_r &= (\Delta - 3\Delta_y); \Delta \geq 4\Delta_y \end{aligned} \quad (3.3)$$

dimana:

$\Delta$  = *Story drift*.

$\Delta_y$  = *Story drift* saat leleh (*yield*).

$\Delta_r$  = *Residual story drift*.

FEMA P-58-1 mengkorelasikan antara persentase (%) *story drift* yang terjadi terhadap *damage state* (level kerusakan; *OP*, *IO*, *LS* & *CP*). Berikut korelasi terhadap *residual story drift* dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan korelasi terhadap *transient story drift ratio* dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.3 Korelasi terhadap *residual story drift ratio*.

<i>Damage state</i>	Keterangan	<i>Residual story drift ratio</i> ( $\Delta_r/h$ )
<i>Operational (OP)</i>	Kerusakan ringan hanya terjadi pada elemen non-struktural.	0,2%
<i>Immediate occupancy (IO)</i>	Kerusakan sedang hanya terjadi pada elemen non-struktural. Dan perlu perbaikan.	0,5%
<i>Life safety (LS)</i>	Terjadi kerusakan pada non-struktural dan struktural. Namun kerusakan masih bisa diperbaiki ( <i>repairable</i> ).	1%
<i>Collapse prevention (CP)</i>	Terjadi kerusakan parah pada elemen structural dan tidak bisa diperbaiki, namun struktur tidak runtuh.	<i>High ductility system</i> $4\% < 0,5V_{design}/W$ <i>Moderate ductility system</i> $2\% < 0,5V_{design}/W$ <i>Limited ductility system</i> $1\% < 0,5V_{design}/W$

Sumber: Lesmana (2020)

Tabel 3.4 Korelasi *transient story drift ratio* dengan *damage state*.

<i>Sistem Struktur</i>	$\Delta_y/h$	<i>Transient story drift ratio</i> ( $\Delta/h$ )			
		<i>OP</i>	<i>IO</i>	<i>LS</i>	<i>CP</i>
<i>Steel ductile moment resisting frame</i>	1%	1%	1,5%	2,7%	7,1%
<i>Reinforced concrete shear wall</i>	0,5%	0,5%	1%	2,2%	3,6%
<i>Timber shear wall</i>	1%	1%	1,5%	2,7%	5,1%

Sumber: Lesmana (2020)

### 3.2.5.5 Overstrength ( $\Omega_0$ )

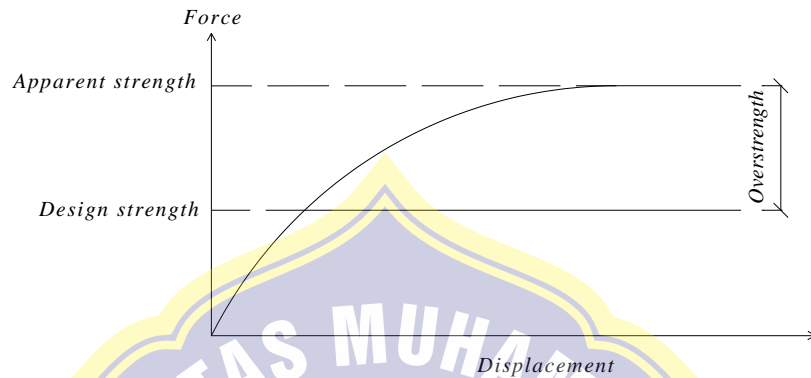
*Overstrength* adalah perbandingan antara nilai *apparent strength* terhadap *design strength* dari sebuah struktur. Dan nilai tersebut akan dibandingkan dengan SNI 1726-2019; Tabel 12. Berikut pada Gambar 3.11 menunjukkan ilustrasi perbandingannya. Dituliskan dalam persamaan parameter ( $\Omega_0$ ) sebagai berikut.

$$\text{Overstrength } (\Omega_0) = \frac{\text{Apparent strenght}}{\text{Design strength}} = \frac{V_u}{V_y} \quad (3.4)$$

dimana:

$V_u$  = Nilai gaya geser saat *displacement plastis* terbesar.

$V_y$  = Nilai gaya geser saat leleh pertama.



Gambar 3.11 Ilustrasi *overstrength factor* pada struktur.

Sumber: Lesmana (2020)

### 3.2.5.6 Reduction Factor (R)

*Reduction factor* adalah perbandingan antara *elastic strenght* deman terhadap *design strength*. Dan nilai tersebut akan dibandingkan dengan SNI 17262019; Tabel 12, apabila nilai  $R$  yang diperoleh lebih kecil dibandingkan dengan SNI 1726-2019 maka kekuatan aktual struktur lebih besar dibandingkan dengan rencana desainnya dan juga sebaliknya. Ilustrasi konsep *reduction factor* dapat dilihat pada Gambar 3.12. Adapun persamaan parameter  $R$  sebagai berikut.

$$\text{Overstrength } (\Omega_0) = \frac{\text{Apparent strenght}}{\text{Design strength}} \quad (3.5)$$

$$\text{Ductility Reduction } (R_d) = \frac{\text{Elastic strenght}}{\text{Apparent strenght}} \quad (3.6)$$

$$R = \frac{\text{Elastic strenght}}{\text{Design strength}} = \frac{V_{\text{elastic}}}{V_{\text{yield}}} = R_d \times \Omega_0 \quad (3.7)$$

dimana:

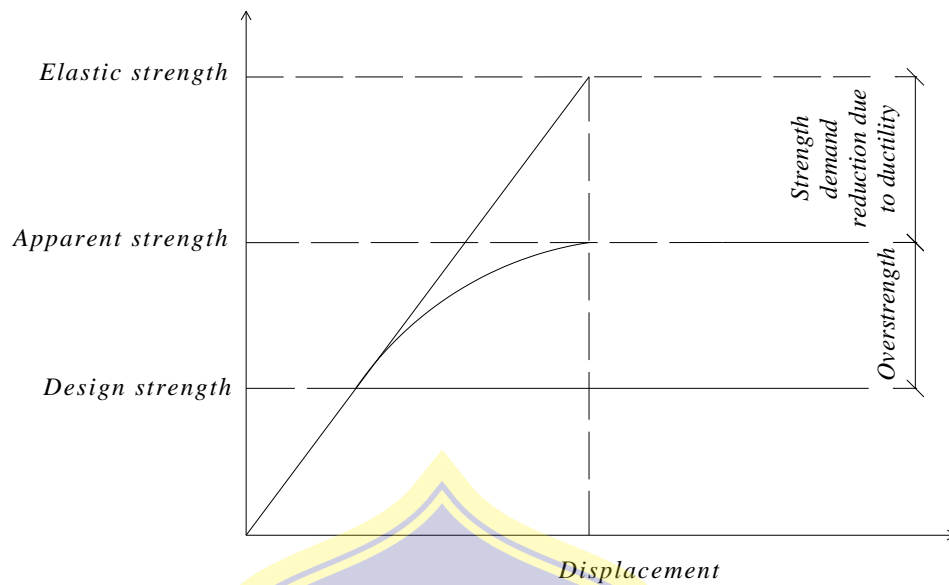
$R$  = *Reduction factor*.

$R_d$  = *Ductility reduction*.

$\Omega_0$  = *Overstrength factor*.

$V_{\text{elastic}}$  = Nilai gaya geser saat *displacement maximum* (saat kondisi *linier*).

$V_{\text{yield}}$  = Nilai gaya geser saat leleh pertama (saat kondisi *nonlinier*).



Gambar 3.12 Ilustrasi konsep *reduction factor*.

Sumber: Lesmana (2020)

### 3.2.5.7 Deflection amplification factor ( $C_d$ )

*Deflection amplification factor* adalah faktor pembesaran simpangan lateral dengan perbandingan antara *actual inelastic displacement demand* ( $\Delta_I$ ) terhadap *design displacement demand* ( $\Delta_D$ ), dapat dilihat pada Gambar 3.12. Dan nilai tersebut akan dibandingkan dengan SNI 1726-2019; Tabel 12, apabila nilai  $C_d$  yang diperoleh lebih kecil dibandingkan dengan SNI 1726-2019 maka kekuatan aktual struktur lebih besar dibandingkan dengan rencana desainnya dan juga sebaliknya. Dituliskan dalam persamaan parameter  $C_d$  sebagai berikut.

$$C_d = \frac{\Delta_I}{\Delta_D} \quad (3.8)$$

dimana:

$C_d$  = *Deflection amplification factor*.

$\Delta_I$  = *Actual inelastic displacement demand*.

$\Delta_D$  = *Design displacement demand*.

### 3.2.6 Base Isolation

Adapun tahapan dalam menentukan *base isolation* yang cocok pada struktur bangun tersebut adalah sebagai berikut.

#### 3.2.6.1 Penentuan Kekakuan Isolator (*Base Isolator*)

Dengan diperoleh parameter periode saat analisis *fixed-base* yaitu periode natural bangunan dan reaksi perletakkannya maka dapat ditentukan nilai kekakuan vertikal ( $K_V$ ) dan nilai kekakuan horizontal ( $K_h$ ) dari *isolator device*. Parameter ini dibutuhkan saat memodelkan struktur yang menggunakan *base isolation*.

### 3.2.6.2 Penentuan *Isolation Ratio* ( $\alpha_I$ )

*Isolation Ratio* merupakan salah satu acuan dalam menganalisis perilaku struktur akibat pengaruh beban lateral. *Isolation Ratio* merupakan perbandingan periode *Isolated Structure* dengan *fixed-base structure* ( $\alpha_I = T_I/T_F$ ). Dalam hal ini nilai  $T_F$  yang diperoleh dari analisis *fixed-base* akan dijadikan acuan awal dalam penentuan  $T_I$ . Sehingga nilai  $T_I = \alpha_I \times T_F$  yang mana dalam kasus ini target periode yang akan dicapai adalah 3,27 detik dengan harapan mendapatkan perilaku struktur yang memenuhi parameter *displacement ductility*, *displacement*, *story drift ratio*, dan *residual transient drift*.

### 3.2.7 Analisis Struktur (*Isolated-Structure*)

Pada tahap ini setelah diperoleh nilai  $\alpha_I$ , analisis struktur dapat dimulai seperti pada *fixed-base*. Hasil yang diharapkan adalah *displacement ductility*, *displacement*, *story drift ratio*, dan *residual transient drift* pada masing-masing struktur. Sehingga dengan parameter-parameter diatas dapat dilihat perilaku dari struktur tersebut apakah sudah memenuhi persyaratan yang berlaku.

### 3.2.8 Kesimpulan

Tahap ini merupakan tahap akhir dari penelitian yang menjelaskan secara singkat terkait dengan hasil penelitian yang telah dilakukan. Dan memberikan pertimbangan-pertimbangan atau pun saran terkait dengan hasil penelitian tersebut. Serta dapat memberikan ambaran terkait perbandingan antara struktur yang menggunakan *fixed-base*, *High Dampig Rubber Bering (HDRB)*, dan *Friction Pendulum System (FPS)*.

