

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Dasar Teori

##### 2.1.1 Struktur Gedung Bertingkat

Struktur adalah sistem konstruksi yang terdiri dari elemen-elemen fisik yang saling terhubung sebagai satu kesatuan untuk mendukung, menyalurkan, dan menahan beban. Elemen-elemen tersebut, seperti kolom, balok, dinding, pelat, dan fondasi, bekerja secara terpadu untuk mendistribusikan gaya-gaya yang timbul akibat berat struktur itu sendiri, beban hidup, beban angin, gempa, serta faktor lingkungan lainnya ke tanah melalui pondasi. Struktur terdapat 3 prinsip dasar, yaitu kekuatan, keseimbangan, dan kestabilan. Kekuatan adalah kemampuan elemen-elemen dan komponen struktur untuk menahan beban yang bekerja secara vertikal maupun horizontal, keseimbangan menggambarkan respons massa bangunan terhadap gaya gravitasi dan angin. Dalam mencapai kestabilan struktural, biasanya digunakan bidang-bidang vertikal masif, seperti *shear wall*, yang berfungsi untuk menyalurkan beban dan membentuk sudut dengan permukaan tanah, dan kestabilan struktur mencerminkan kemampuan struktur bangunan dalam menahan gaya lateral dari luar, seperti angin, gempa, dan gaya gravitasi.

Bangunan bertingkat adalah struktur yang memiliki lebih dari satu lantai secara vertikal. Menurut tinjauan desain struktur, semakin tinggi suatu bangunan, semakin krusial pula respons struktur terhadap beban lateral. Pembangunan gedung bertingkat dilakukan untuk mengatasi keterbatasan lahan, terutama di kawasan perkotaan di mana harga tanah cenderung tinggi. Gedung bertingkat dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori (Albertini dkk., 2021).

- a) Gedung bertingkat rendah (*low rise building*) yaitu gedung dengan ketinggian  $< 15$  m atau dengan jumlah lantai 2 – 4 lantai.

- b) Gedung bertingkat menengah (*middle rise building*) yaitu gedung dengan ketinggian  $15 < 40\text{m}$  atau dengan jumlah lantai 5 – 10 lantai.
- c) Gedung bertingkat tinggi (*high rise bilding*) yaitu gedung dengan ketinggian  $40 < 150\text{ m}$  atau dengan jumlah lantai 10 – 40 lantai.
- d) Gedung pencakar langit (*sky scrapper*) dengan ketinggian lebih dari 40 lantai.

### 2.1.2 Bangunan Tahan Gempa

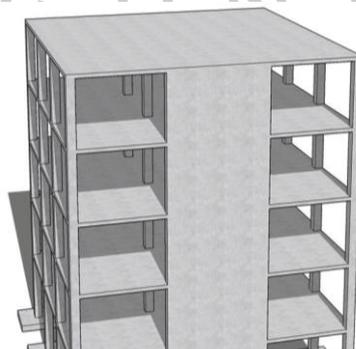
Selama terjadi gempa bumi, sebuah bangunan mengalami pergerakan baik secara vertikal maupun horizontal. Dalam pergerakan ini, timbul gaya inersia atau gaya gempa pada titik-titik massa struktur. Gerakan vertikal sedikit mempengaruhi gaya gravitasi yang bekerja pada bangunan. karena bangunan telah dirancang untuk mengatasi gaya vertikal dengan faktor keamanan yang memadai, keruntuhan akibat gempa vertikal jarang terjadi. Sebaliknya, gaya gempa horizontal mengakibatkan tekanan pada titik-titik lemah dalam struktur, yang dapat menyebabkan keruntuhan jika kekuatan struktur tidak mencukupi. Oleh karena itu, prinsip utama dalam desain bangunan tahan gempa adalah memperkuat struktur terhadap gaya lateral (samping), yang umumnya belum cukup kuat untuk menahan tekanan tersebut.

Bangunan tahan gempa adalah struktur yang dirancang untuk menahan gaya-gaya lateral akibat gempa dengan memanfaatkan elemen struktural yang mampu menyerap dan mendistribusikan energi gempa secara efisien. Prinsip utama dalam desain bangunan tahan gempa melibatkan konsep deformasi terkontrol, di mana struktur diizinkan untuk mengalami deformasi tertentu tanpa kehilangan kapasitas dukungnya, oleh karena itu, memperkirakan gerakan gempa di lokasi yang ditinjau berdasarkan data dan catatan seismologi masa lalu adalah langkah awal yang penting. Beberapa sistem struktur yang dipakai untuk meningkatkan daya tahan struktur bertingkat, terhadap gempa, yaitu :

### a.) Sistem Dinding struktural (*Shear Wall*)

Dinding struktural, atau dikenal sebagai *shear wall*, merupakan elemen struktural vertikal yang terbuat dari beton bertulang dan dirancang untuk menahan gaya lateral yang diakibatkan oleh beban angin, gempa bumi, maupun beban horizontal lainnya. Dinding struktural berfungsi untuk meningkatkan kekakuan dan stabilitas bangunan, Elemen struktural ini secara efektif mampu menahan gaya lateral yang ditimbulkan oleh gempa, yang menjadikannya solusi untuk digunakan pada gedung bertingkat tinggi, dengan cara mendistribusikan gaya lateral ke pondasi sehingga mampu mengurangi pergerakan atau simpangan horizontal pada bangunan. Dengan kekakuan yang signifikan, dinding struktural tidak hanya membantu menjaga stabilitas struktur tetapi juga mengurangi deformasi lateral selama kejadian gempa (Nizamani dkk., 2018).

Desain dinding struktural harus mampu menghadapi potensi gaya lateral yang dihasilkan oleh beban gempa. Sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 7.11.1 mengenai Dinding struktural dan pengankurannya. Dinding penumpu dan dinding struktural, baik yang eksterior maupun interior, beserta pengankurannya harus dirancang untuk menahan gaya sebesar 40% dari percepatan respons spektral desain periode pendek ( $S_{DS}$ ) yang dikalikan dengan berat dinding,  $W_c$ , yang tegak lurus terhadap permukaan, dengan gaya minimum sebesar 10% dari berat dinding. Selain itu, hubungan antar elemen dinding dan sambungan dalam sistem rangka pendukung

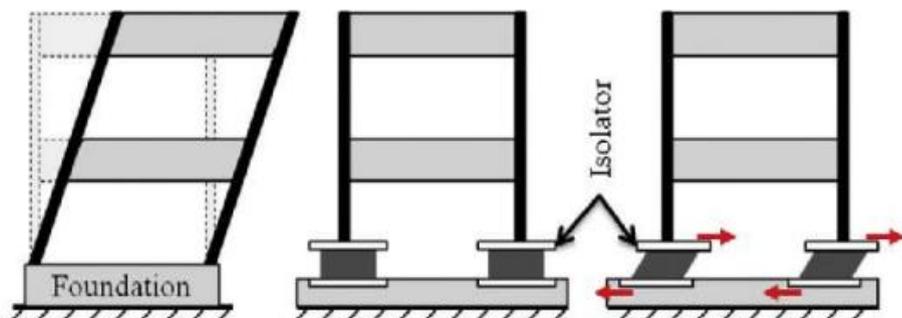


**Gambar 2. 1** Dinding struktural Pada Struktur Bangunan

perlu memiliki daktilitas, kapasitas rotasi, dan kekuatan yang memadai untuk menahan efek susut, perubahan suhu, dan perbedaan penurunan pondasi ketika dikombinasikan dengan gaya seismik (Nizamani dkk., 2018)

### b.) Sistem Isolasi Dasar (Base Isolation)

Isolasi dasar atau *Base isolation* adalah perangkat struktural yang terbuat dari kombinasi karet dan baja lunak, yang dipasang di antara fondasi (*sub structure*) dan sloof atau kolom (*super structure*). Fungsi utamanya adalah untuk meredam atau mengurangi energi gempa serta percepatan tanah dasar yang diteruskan ke struktur bangunan. *Base isolation* mempunyai sifat yang fleksibel terhadap gaya horizontal, tapi mampu menahan berat bangunan dengan baik, hal itu dikarenakan kombinasi antara material karet dan pelat baja yang tersusun, dengan sifat fleksibel tersebut, saat gaya gempa menggeser pondasi, isolasi dasar ini melakukan simpangan horisontal bolak-balik dari tanah sehingga gaya tersebut hanya sebagian kecil yang diterima ke struktur bangunan.



Gambar 2. 2 Konsep Sistem Base Isolation

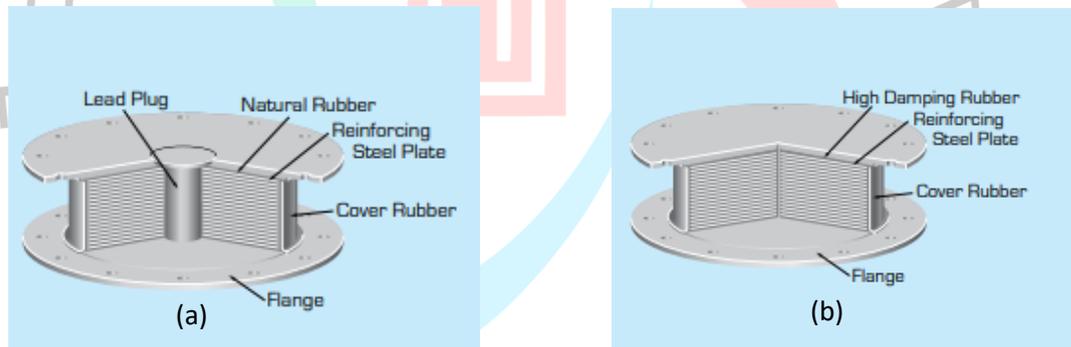
Cara kerja sistem *base isolation* ini, yaitu dengan memperpanjang periode getaran alami bangunan dan meredam energi gempa secara signifikan menggunakan elemen seperti *elastomeric bearing* (karet dengan inti timbal) atau sistem pendulum gesekan (*Friction Pendulum System*). Teknologi *base isolation* ini tidak hanya mereduksi percepatan struktural, tetapi juga mengurangi risiko

kerusakan pada elemen non-struktural, seperti dinding partisi dan peralatan sensitif (Fakih dkk., 2021). Sistem base isolation yang saat ini digunakan memiliki beragam jenis. Berikut adalah beberapa contoh sistem base isolation yang tersedia:

a) *Elastomeric Based System*

Sistem ini menggunakan bahan elastomer, seperti karet, untuk menyerap dan mendistribusikan gaya lateral akibat gempa, sehingga energi seismik tidak secara langsung diteruskan ke struktur utama. Jenis-jenis Elastomeric Bearings:

- *Lead-Rubber Bearings (LRB)*
- *High-Damping Rubber Bearings (HDRB)*
- *Low Damping Natural dan Synthetic Rubber Bearings*



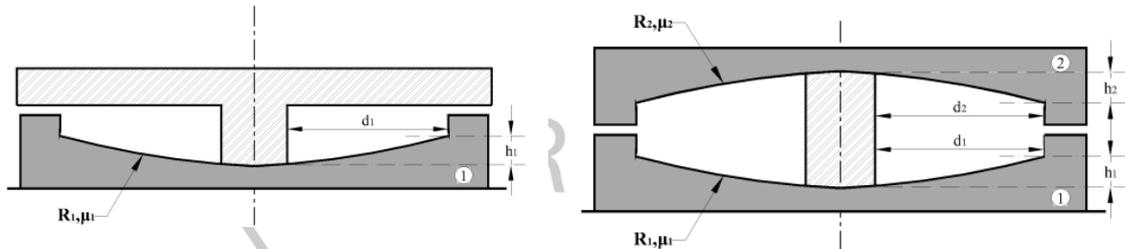
**Gambar 2. 3** *Lead Rubber Bearings (a), High Dumping Rubber Bearings (b)*

b) *Friction Pendulum System*

*Friction Pendulum System* (FPS) merupakan salah satu sistem isolasi dasar yang berfungsi melindungi bangunan dari dampak gempa dengan mengadopsi prinsip kerja pendulum gesekan. FPS ini bekerja dengan memanfaatkan gerakan melengkung seperti pendulum sederhana (Suryawidodo dkk., 2023). Sehingga dapat mengurangi percepatan seismik yang diterima oleh bangunan. Sistem ini terdiri dari permukaan gesekan melengkung, elemen gesekan, dan terkadang

mekanisme pemulih gaya pusat. Jenis-jenis *Friction Pendulum System*, yaitu:

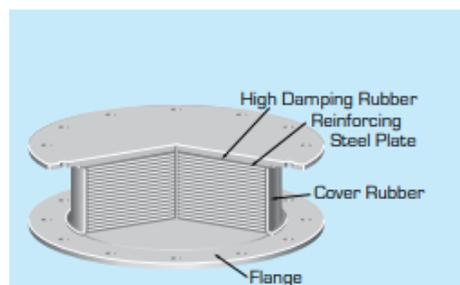
- *Friction pendulum bearing (single dan double concave)*



**Gambar 2. 4** *Friction pendulum bearing – single (Kiri) dan double concave (Kanan)*

### 2.1.3 High Damping Rubber Bearing (HDRB)

*High Damping Rubber Bearing (HDRB)* memiliki kelebihan berupa perpindahan kekakuan dari kondisi linear ke nonlinear yang lebih gradual dibandingkan dengan tipe Lead Rubber Bearing (LRB). Perpindahan kekakuan yang lebih halus ini krusial, karena penurunan kekakuan yang tiba-tiba dapat menimbulkan getaran yang lebih besar dan berpotensi merusak peralatan yang sensitif terhadap getaran. Prinsip kerja dari jenis base isolator ini bekerja dengan cara memperpanjang periode getar alami struktur hingga berada di luar rentang frekuensi dominan gempa, bahkan hingga 2,5 kali lebih lama dibandingkan struktur tanpa isolator (fixed base). HDRB mampu mereduksi respons struktur dengan menurunkan tegangan geser hingga sebesar 10%–20% pada kondisi 100% tegangan maksimum tegangan geser (Vatanshenas dkk., 2021). Karenanya gaya lateral yang disalurkan ke struktur bangunan jadi lebih kecil. **Gambar 2.5** tipe *base isolation HDRB*.



**Gambar 2. 5** *High Damping Rubber Bearing (HDRB)*

Perhitungan untuk mendesain *base isolation* dengan tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) dilakukan dengan menghitung berat bangunan pada masing-masing titik kolom bangunan. Berikut merupakan perhitungan yang digunakan untuk mendesain *base isolation* (Kelly & Naeim, 1999).

a. Kekakuan Horizontal

$$K_H = \frac{W}{g} \left( \frac{2\pi}{T_D} \right)^2 \quad (2.1)$$

Dengan keterangan :

$K_H$  = Kekakuan Horizontal

$W$  = Gaya Aksial Kolom

$g$  = Percepatan Gravitasi

$T_D$  = Waktu Periode Rencana

b. Design Displacement

$$D_D = \left( \frac{g}{4\pi^2} \right) \times \frac{S_D \times T_D}{B_D} \quad (2.2)$$

Dengan Keterangan :

$D_D$  = Design Displacement

$g$  = Percepatan Gravitasi

$S_D$  = Koefisien Gempa

$B_D$  = Koefisien Damping

$T_M$  = Waktu Periode Rencana

Beberapa hal perlu dipahami sebelum melakukan perhitungan dalam desain benda uji, antara lain:

c. Periode rencana struktur dengan base isolation (T)

$$T_M = 3 T_{Struktur} \quad (2.3)$$

Dengan :

$T_M$  = Periode rencana struktur dengan menggunakan *base isolation*.

$T_{struktur}$  = Periode struktur tanpa base isolation atau biasa disebut *fixed base*.

d. Mencari luasan *base isolation*

$$A = \frac{K_H \cdot t_r}{G_t} \quad (2.4)$$

Dengan :

$A$  = Luas *base isolation*

$K_H$  = Kekakuan Horizontal

$t_r$  = Ketebalan Rubber

$G_t$  = Modulus Shear

e. Mencari diameter *base isolation*

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (2.5)$$

Dengan :

$D$  = Diameter *base isolation*

$A$  = Luas *base isolation*

#### 2.1.4 Waktu Getar Alami Fundamental Struktur Gedung

Periode getar merupakan waktu yang dibutuhkan oleh suatu objek untuk menyelesaikan satu siklus getaran dalam Sistem Satuan Internasional (SI). Periode ini dilambangkan dengan simbol T dan dinyatakan dalam satuan detik. Secara umum, semakin besar periode getar alami fundamental suatu struktur bangunan, semakin kecil gaya gempa yang akan diterima oleh struktur tersebut. Persamaan yang digunakan untuk menghitung periode fundamental ( $T_a$ ) dalam satuan detik adalah sebagai berikut: (SNI-1726-2019 pasal 7.8.2.1).

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (2.6)$$

Dengan :

$T_a$  = Periode Fundamental pendekatan

$h_n$  = Ketinggian struktur

$C_t$  dan  $x$  ditentukan melalui tabel SNI-1726-2019 pasal 7.8.2

### 2.1.5 Percepatan Respons Spektral MCE dari Peta Gempa

Pada langkah ini adalah menentukan nilai parameter percepatan spectral desain. S1 untuk parameter respons percepatan spectral MCE dari peta pada periode 1 detik dan SS untuk parameter respons percepatan spectral MCE dari periode 0,2 detik. Peta gempa yang dipertimbangkan memiliki dua variabel yaitu SS dan S1 yang terdapat pada SNI-1726-2019 pasal 15, dengan adanya peta sumber dan bahaya gempa Indonesia pada SNI 1726-2019, yang mengatur tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur gedung dan non gedung, maka perlu dilengkapi dengan menggunakan aplikasi respon spektrum desain Indonesia tahun 2019 untuk mempermudah menghitung beban gempa. Respon spektrum ini dicari melalui web [rsa.ciptakarya.pu.go.id](http://rsa.ciptakarya.pu.go.id), yang titik koordinat pada lokasi bangunan yang akan ditinjau.

### 2.1.6 Simpangan Antar Lantai (*Story drift*)

Penentuan simpangan antar lantai desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat masa ditingkat teratas dan terbawah. Simpangan pusat massa di tingkat-x ( $\delta x$ ) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan yang telah ditetapkan pada SNI-1726-2019 pasal 7.8.6.

### 2.1.7 Pembebanan

Dalam merancang sebuah struktur bangunan, seorang perencana harus memiliki pemahaman yang mendalam mengenai berbagai jenis beban yang akan ditanggung oleh struktur tersebut, termasuk karakteristik unik dari

masing-masing beban. Berbagai jenis beban yang bekerja pada struktur meliputi:

a.) Beban Mati

Beban mati adalah semua beban yang berasal dari berat bangunan, termasuk segala unsur tambahan tetap yang merupakan satu kesatuan dengannya. Densitas beban mati ini diatur pada SNI-1727-2020 Tabel C3.1-2.

b.) Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang muncul akibat aktivitas pengguna bangunan, mencakup beban dari benda-benda bergerak, peralatan, maupun mesin yang tidak termasuk elemen permanen struktur dan dapat berubah selama umur bangunan. Beban ini memengaruhi variasi beban pada lantai dan atap. Ketentuan mengenai beban hidup telah diatur dalam SNI 1727:2020 pada Tabel C4.3-1, yang mengatur nilai minimum beban hidup merata yang harus diperhitungkan.

### 2.1.8 Beban Gempa

Gempa bumi merupakan fenomena berupa getaran yang berkaitan dengan kejutan pada lapisan kerak bumi atau garis patahan bumi. Beban ini dipicu oleh berbagai penyebab, namun salah satu faktor utamanya adalah pergerakan atau gesekan pada kerak bumi yang berdampak pada permukaan bumi. Kejutan akibat benturan ini menyebar dalam bentuk gelombang, yang kemudian menyebabkan permukaan bumi dan bangunan di atasnya bergetar. Saat bangunan bergetar, timbul gaya-gaya pada struktur bangunan karena massa bangunan cenderung mempertahankan posisinya dan gerakannya. Gaya yang muncul ini disebut gaya inersia. Besarnya gaya tersebut dipengaruhi oleh berbagai faktor yang diatur pada SNI-1726-2019, yaitu:

1. Besarnya massa total bangunan.
2. Distribusi massa di seluruh bagian struktur.
3. Tingkat kekakuan elemen struktural.
4. Jenis dan karakteristik tanah pada lokasi pembangunan.

5. Sistem redaman serta perilaku dinamis struktur.
6. Sifat alami struktur dalam merespons getaran, termasuk periode getarnya.
7. Tingkat risiko seismik atau zona gempa tempat bangunan berada.
8. Nilai periode getar alami bangunan yang berperan dalam menentukan respons terhadap beban gempa.

### 2.1.9 SRPM (Sistem Rangka Pemikul Momen)

Sistem Rangka Pemikul Momen adalah sistem struktur rangka di mana elemen-elemen struktural beserta sambungannya dirancang untuk menahan beban lateral melalui mekanisme kerja lentur. Sistem ini diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

### 2.1.10 Kombinasi Beban

SNI 1726 pasal 4.2.2, menetapkan tujuh macam kombinasi beban yang harus dipikul komponen struktur, berikut adalah beban yang di tinjau:

1.  $1,4 DL$
2.  $1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
3.  $1,2 D + 1,6 Lr + 1 LL$
4.  $1,2 D + 1,6 R + 1 LL$
5.  $1,2D + E_V + E_H + L$
6.  $0,9D - E_V + E_H$

Untuk nomer 5 dan 6 dengan penambahan beban gempa yang diatur oleh SNI 1726 : 2019 Pasal 4.2.2.3 menjadi :

6.  $1,2D + E_V + E_H + L$
6.  $(1,2 + 0.2 SDS)D + 1.0L \pm \rho QEX \pm 0.3\rho QEY$
7.  $(0,9 - 0.2 S_{DS})D \pm 0.3\rho QEX \pm \rho QEY$
7.  $(0,9 - 0.2 S_{DS})D \pm \rho QEX \pm \rho QEY$

Dengan :

$D$  = beban mati

$L$  = beban hidup

$L_r$  = beban hidup pada atap

$R$  = beban hujan

$E$  = beban gempa

$E_h$  = pengaruh beban gempa horizontal

$E_v$  = pengaruh beban gempa vertikal

$\rho$  = Faktor redundansi

$Q_E$  = Pengaruh gaya gempa horizontal dari  $V$  atau  $F_p$

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

Beban untuk  $L$  pada kombinasi 3, 4, dan 6 dapat ditetapkan sebesar 0,5 untuk semua fungsi ruang, apabila beban hidup desain yang tidak direduksi ( $L_o$ ) dalam SNI 1727, memiliki nilai lebih kecil atau sama dengan  $4,78 \text{ kN/m}^2$ , kecuali pada garasi atau ruang pertemuan publik.

#### **2.1.11 Robot Structural Analysis Professional (RSAP)**

*Robot Structural Analysis Professional* (RSAP) adalah perangkat lunak analisis struktur yang dikembangkan oleh Autodesk, dirancang untuk membantu insinyur sipil dan struktural dalam melakukan simulasi, analisis, dan desain struktur bangunan secara menyeluruh. RSAP mampu memodelkan berbagai jenis elemen struktural secara tiga dimensi (3D) dan mendukung analisis linear maupun non-linear, termasuk beban dinamis seperti gempa dan angin. Perangkat lunak ini memungkinkan pengguna untuk menginput berbagai parameter material, beban, dan kondisi batas (boundary condition), serta melakukan analisis gaya dalam, deformasi, respons spektrum, dan banyak lagi. RSAP terintegrasi dengan platform BIM, sehingga sangat mendukung alur kerja desain modern yang kolaboratif dan efisien.

#### **2.1.15 Standar Peraturan**

Peraturan dan standar yang digunakan terdapat pada Tabel 2.1 berikut ini.

**Tabel 2. 1** Standar Peraturan SNI dengan Pasal

No	Ketentuan	Standar	Pasal
1	Modulus Elastisitas Beton	SNI 2847:2019	Pasal 19.2.2.1
2	Modulus Retak	SNI 2847:2019	Pasal 19.2.3.1
3	Modulus Elastisitas Baja	SNI 2847:2019	Pasal 20.2.2.2
4	Momen Inersia Penampang	SNI 2847:2019	Pasal 6
5	Beban Mati Tambahan	SNI 1727:2020	Pasal C3.1.
6	Beban Hidup	SNI 1727:2020	Pasal 4.3.1
7	Kombinasi Pembebanan	SNI 1727:2020	Pasal 2.3
8	Klasifikasi kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung pada fungsi atau pemanfaatan bangunan	SNI 1726:2019	Pasal 4.1
9	Klasifikasi situs	SNI 1726:2019	Pasal 5.3
10	Peta Wilayah gempa	SNI 1726:2019	Pasal 15
11	Prosedur pembuatan respon spektra	SNI 1726:2019	Pasal 6.1
12	Koefisien situs	SNI 1726:2019	Pasal 6.2
13	Parameter percepatan gempa	SNI 1726:2019	Pasal 6.2
14	Percepatan spektral desain	SNI 1726:2019	Pasal 6.3
15	Spektrum respons desain	SNI 1726:2019	Pasal 6.4
16	Kategori desain seismik	SNI 1726:2019	Pasal 6.5
17	Penentuan Periode Fundamental Pendekatan Struktur	SNI 1726:2019	Pasal 7.8.2
18	Sistem struktur penahan gaya seismik	SNI 1726:2019	Pasal 7.2
19	Gaya geser dasar seismik	SNI 1726:2019	Pasal 7.8.1
20	Koefisien Respon Seismik	SNI 1726:2019	Pasal 7.8.1.1
21	Kombinasi Pembebanan	SNI 1727:2020	Pasal 2.3.1
22	Sistem Rangka Pemikul Momen	SNI 1726:2019	Pasal 3.50.4
23	Simpangan Antar Lantai	SNI 1726:2019	Pasal 7.8.6
24	Pengaruh P-delta	SNI 1726:2019	Pasal 7.8.7
25	Distribusi vertikal gaya seismik	SNI 1726:2019	Pasal 7.8.3
26	Distribusi horizontal gaya gempa	SNI 1726:2019	Pasal 7.8.4
27	Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen	SNI 1726:2019	Pasal 7.8
28	Faktor-faktor dan kombinasi beban	SNI 2847:2019	Pasal 5.3.1

## 2.2 Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian Fakhri dkk., 2021, *Effect of Lead-Rubber Bearing Isolators in Reducing Seismic Damage for a High-Rise Building in Comparison with Normal Shear Wall System*, dilakukan analisis terhadap gedung bertingkat tinggi setinggi 168,2 meter dengan 44 lantai, yang dibandingkan antara sistem struktur dengan dinding struktural (*fixed base*) dan sistem yang menggunakan base isolator tipe *Lead Rubber Bearing* (LRB). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan base isolator dalam mengurangi dampak gempa pada bangunan tinggi. Hasil analisis menunjukkan beberapa temuan penting seperti pada struktur *fixed base*, periode fundamental bangunan sebesar 7,8 detik, sedangkan pada struktur dengan base isolator, periode meningkat menjadi 16,4 detik.

- Penggunaan base isolator berhasil menurunkan percepatan gempa yang diteruskan ke struktur. Percepatan maksimum pada atap gedung untuk struktur *fixed base* adalah  $8,29 \text{ m/s}^2$ , sedangkan pada struktur dengan base isolator hanya  $3,71 \text{ m/s}^2$ , yang berarti terjadi penurunan sebesar 55,24%. Simpangan lateral atap gedung pada struktur *fixed base* mencapai 85,56 cm, sedangkan pada struktur dengan base isolator hanya 46,1 cm, dengan demikian, penggunaan base isolator mampu mengurangi simpangan lateral atap sebesar 46,11%, Gaya geser dasar (*base shear*) pada struktur *fixed base* mencapai 8368 ton, sedangkan pada struktur dengan base isolator turun drastis menjadi 1169 ton, yang berarti terjadi pengurangan sebesar 86,03%. Penggunaan base isolator juga berdampak pada reduksi rasio drift antar lantai hingga 82,81%, yang berkontribusi pada perlindungan elemen struktural maupun non-struktural selama gempa.

Pada penelitian Fujii dkk., 2020 melakukan analisis terhadap gedung bertingkat 14 lantai dengan sistem isolasi dasar (*base-isolated*) menggunakan metode *pushover analysis*. Studi ini bertujuan untuk memprediksi respons maksimum dan kumulatif dari bangunan yang menggunakan isolator tipe *Lead Rubber Bearing* (LRB), *Natural Rubber Bearings* (NRB), dan peredam baja (*steel dampers*). Hasil analisis dari

penelitian ini adalah pada struktur dengan sistem isolasi dasar, periode fundamental bangunan meningkat dari 0,854 detik (*fixed base*) menjadi 4,84 detik pada bangunan dengan isolasi dasar, peningkatan ini menunjukkan bahwa sistem isolasi mampu memperpanjang waktu getar alami bangunan untuk mengurangi dampak gempa. Percepatan maksimum pada atap bangunan untuk struktur *fixed base* adalah 4,32 m/s<sup>2</sup>, sedangkan pada struktur *base-isolated* dengan LRB turun menjadi 1,75 m/s<sup>2</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan isolator dapat mengurangi percepatan hingga 59,49%. Simpangan lateral maksimum pada atap bangunan untuk struktur *fixed base* mencapai 56,4 cm, sedangkan dengan sistem isolasi turun menjadi 31,2 cm, menunjukkan reduksi sebesar 44,68%, gaya geser dasar (*base shear*) yang bekerja pada struktur *fixed base* adalah 3250 kN, sedangkan pada struktur dengan isolasi turun menjadi 1420 kN, mengalami reduksi sebesar 56,31%. Energi kumulatif yang diserap oleh isolator dan peredam baja juga menunjukkan bahwa base isolator mampu meredam sebagian besar energi gempa. Pada LRB, energi kumulatif yang terserap adalah 185,6 kN.m, sedangkan pada steel damper mencapai 92,4 kN.m.

Sementara itu Singh dkk., 2024 melakukan analisis terhadap gedung bertingkat 20 lantai yang menggunakan sistem dinding struktural dan isolasi dasar (*base isolator*) dengan *Lead Rubber Bearing* (LRB). Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas kombinasi dinding struktural dan isolasi dasar dalam meningkatkan kinerja seismik bangunan tinggi. Analisis dilakukan menggunakan metode *time history* pada perangkat lunak SAP2000 dengan empat rekaman gempa *near-fault*, termasuk dua dengan karakteristik *forward directivity* dan dua dengan *fling step*. Hasil analisis dari penelitian ini adalah pada struktur *fixed base*, perpindahan maksimum lantai teratas mencapai 66,16 cm. Dengan penggunaan dinding struktural, perpindahan ini berkurang menjadi 4,02 cm, dan lebih lanjut turun menjadi 2,77 cm pada model yang menggabungkan dinding struktural dan isolasi dasar. Percepatan absolut maksimum pada lantai teratas mengalami penurunan signifikan, dari 1,13 g pada model *fixed base* menjadi 0,52 g pada model yang menggunakan kombinasi dinding struktural dan isolasi dasar.

Penggunaan isolasi dasar bersama dinding struktural membantu menurunkan beban lateral pada struktur, meningkatkan efektivitas disipasi energi, serta mengurangi deformasi struktural yang dapat menyebabkan kerusakan.

Penelitian lain dilakukan oleh Vatanshenas dkk., 2021 yang melakukan analisis terhadap bangunan 4 lantai dengan sistem rangka baja konsentris yang rentan terhadap gempa. Studi ini meneliti efektivitas penggunaan *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) sebagai metode rehabilitasi struktural pada bangunan yang terletak di wilayah seismik aktif. Hasil analisis dari penelitian ini adalah setelah pemasangan HDRB, periode getar fundamental bangunan meningkat dari 0,638 detik (sebelum rehabilitasi) menjadi 1,972 detik. Peningkatan ini menunjukkan bahwa sistem isolasi mampu mengurangi kekakuan struktur dan memperpanjang periode alami bangunan, sehingga mengurangi efek percepatan gempa yang diterima oleh struktur. Penggunaan HDRB berhasil mengurangi gaya geser dasar secara signifikan. Dalam skenario terbaik, gaya geser dasar berkurang sebesar 92,2%, sedangkan dalam skenario terburuk terjadi reduksi sebesar 61,8%. Sebagian besar elemen struktural tetap berada dalam kondisi elastis setelah rehabilitasi, dengan hanya sedikit elemen yang mengalami plastifikasi. Hal ini menunjukkan bahwa sistem HDRB mampu menjaga kinerja struktur dalam batas aman sesuai dengan level performa *Life Safety* (LS). Dari hasil analisis gaya geser dasar maksimum, pada bangunan tanpa HDRB, mencapai 6282,6 kN untuk gempa Victoria, sedangkan setelah pemasangan HDRB, gaya geser maksimum berkurang menjadi 935,1 kN, menunjukkan penurunan hingga 85,2%.

Penelitian terhadap sistem isolasi *Friction Pendulum System* (FPS) dengan tambahan peredam pasif dan semi-aktif untuk meningkatkan kinerja seismik struktur dilakukan oleh Barrera-Vargas dkk., 2020, studi ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas kombinasi FPS dengan peredam dalam mengurangi perpindahan residu dan memperbaiki kapasitas *re-centering* sistem isolasi dasar. Hasil analisis dari penelitian ini adalah periode fundamental sistem FPS bergantung pada radius cekungan isolator.

Dengan menggunakan radius efektif 2 meter, periode alami sistem mencapai 2,83 detik, Penggunaan FPS dengan koefisien gesek tinggi (0,20) mengurangi perpindahan dasar maksimum hingga 1,42 meter dibandingkan FPS dengan koefisien gesek rendah (0,05) yang mencapai 3,11 meter. Penambahan peredam semi-aktif dapat mengurangi simpangan antar lantai sebesar 76% dibandingkan struktur tanpa isolasi, sedangkan FPS dengan peredam pasif mengurangi simpangan antar lantai sekitar 71%. Gaya geser dasar (*base shear*) untuk struktur non-isolated mencapai 8368 kN, sedangkan dengan FPS semi-aktif turun menjadi 1420 kN, menunjukkan pengurangan sebesar 83%. Energi mekanis kumulatif yang diserap oleh struktur dengan FPS semi-aktif lebih rendah dibandingkan FPS pasif, menunjukkan bahwa sistem ini lebih efisien dalam disipasi energi gempa tanpa menyebabkan perpindahan residu yang berlebihan.