

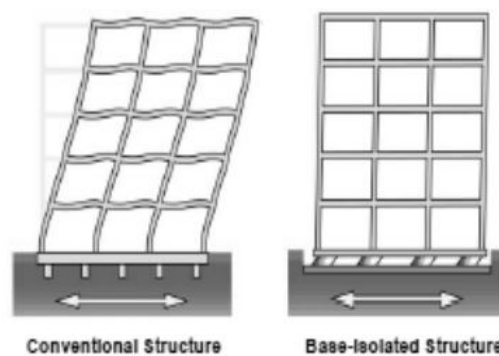
BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Umum

Perkembangan teknologi untuk mengatasi gempa sudah banyak dikembangkan, salah satunya adalah sistem kontrol gempa (*seismic control*) pada struktur. Untuk penempatan isolasi gempa yang ada jika dipasang pada dasar bangunan sistem tersebut akan disebut sebagai isolasi dasar (*base isolation*) sedangkan, jika pemasangan isolasi gempa di antara struktur disebut *Inter-story isolation*.

Perlindungan bangunan menggunakan *isolator* bisa menguntungkan bagi penggunanya, salah satu isolasi dasar yang digunakan adalah *high damping rubber bearings* yaitu bantalan karet yang berfungsi untuk meredam getaran gempa. Penggunaan isolasi dasar ini juga dinilai lebih unggul daripada melalui bangunan tahan gempa dengan cara konvensional, karena penggunaan isolasi dasar bisa melindungi seluruh isi bangunan. Pada saat pemasangan *isolator* pada elemen struktur lainnya, sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 13.2.1.2 menyatakan bahwa Perangkat Peredam harus di desain pada kondisi elastik untuk beban seismik maksimum yang diperhitungkan (MCE_R). Berikut perilaku bangunan yang menggunakan sistem isolasi dasar saat terjadi gempa yang dilihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2. 1 Perilaku Gedung yang Menggunakan Isolasi Dasar
(Sumber: Febrin Anas Ismail,2012).

Berdasarkan hasil penelitian dari Febrin Anas Ismail (2012), Ia menyatakan bahwa untuk perpindahan lantai dengan gedung yang menggunakan *base isolator* bisa di reduksi hingga 30%. Adanya pengurangan gaya dalam perpindahan lantai ini tidak bisa dijadikan dasar untuk mengurangi kekakuan struktur gedung tersebut. Penggunaan isolasi dasar juga menunjukkan bahwa gaya gempa yang terjadi bisa di reduksi sebesar 47% dan penggunaan sistem ini dapat memperkecil dimensi komponen struktur. Begitu pula dengan respons struktur yang lainnya, akan ada perubahan dari bangunan yang menggunakan isolasi dasar maupun yang tidak.

2.2. Prinsip Sistem *Inter-story Isolation*

Sistem *Inter-story Isolation* memiliki arti dan pengertian yang sama dengan sistem isolasi biasanya. Sistem *Base Isolation* adalah dimana beban gempa yang mengenai bangunan dapat di reduksi dengan memasang *free joint* diantara struktur atas dan bawah sehingga struktur dapat bergerak horizontal pada *free joint* tersebut (Anas Ismail,2012). Perbedaan antara Sistem *Base Isolation* dan Sistem *Inter-story Isolation* adalah penempatan Peredam gempa atau *Isolatornya*.

Pada Sistem ini peredam bisa di tempatkan di antara lantai dari sebuah struktur bangunan. Awal mula munculnya istilah Sistem *Inter-story isolation* adalah karena terbatasnya jumlah *isolator* yang akan digunakan. Pada umumnya, bangunan yang menggunakan *isolator* pada bagian struktur di atas lapisan isolasi memiliki pengaruh gaya gempa yang lebih kecil dan tingkat kekakuan dan kekuatan yang lebih baik. Dengan demikian memungkinkan adanya kebebasan untuk perencanaan struktural dan arsitektural di atas lapisan isolasi dasar, contohnya gedung multi-fungsi.

Hal lain dari adanya sistem ini adalah biaya pengeluaran yang berkurang, karena saat *isolator* dipasang di antara story bangunan, jumlah unit *isolator* bisa kurang dari jumlah kolom yang ada.

2.3. Jenis-Jenis Isolasi Dasar (*Base Isolator*)

Jenis-Jenis Isolasi dasar yang ada dibedakan dari bahan pembuatannya, yaitu ada *Rubber Type Seismic Isolation* dan *Non-rubber Type Seismic Isolation*. Jenis pertama yaitu, *Non-Rubber Type Seismic Isolation* atau yang paling banyak dikenal antara lain *lead extrusion damper*, *roller bearings* dan *sliding bearings*. *Lead extrusion damper*, merupakan model yang paling banyak digunakan, dan untuk dua model lainnya masih dalam tahap percobaan. Kemudian, yang kedua ialah *Rubber Type Seismic Isolation* atau juga Isolasi dasar yang terbuat dari lembaran-lembaran vulkanisan karet yang di rekatkan pada plat-plat baja secara berselang-seling. Bahan utama dari *base isolator* ini adalah Karet dan baja.

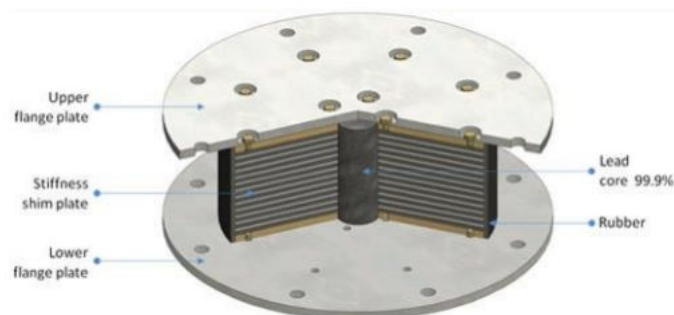
Kegunaan Karet sebagai bahan penggunaan *isolator* ini yaitu, sifat asli karet yang elastis dapat mengikuti pergerakan horizontal yang berasal dari arah getaran gempa tektonik lalu setelah adanya gerakan ke arah horizontal, karet tersebut bisa kembali ke bentuk semula dan kegunaan dari bahan karet ini adalah Karet bisa menyimpan energi lebih baik daripada baja seperti yang di tunjukkan pada **Tabel 2.1**. Menurut hasil penelitian, sifat yang dimiliki bantalan karet ini juga mampu meredam sekurang-kurangnya 70% akselerasi di puncak bangunan (BPPP,1997). Serta, jenis karet yang digunakan adalah karet alam Hevea, salah satu jenis karet yang dikenal memiliki sifat elastis paling unggul dari semua jenis karet yang ada dan bisa bertahan selama 50 tahun dalam penggunaannya.

Kegunaan dari pelat baja pada *isolator* yaitu meningkatkan kekuatan karet secara vertikal sehingga karet tidak menggebu ke samping karena adanya beban bangunan. Macam-macam isolasi dasar dengan *isolator* bantalan karet yang banyak digunakan adalah (*Lead Rubber Bearing-LRB*) dan *High Damping Rubber Bearing-HDRB*).

Tabel 2. 1 Kapasitas Simpan Energi dari Beberapa Bahan

| Bahan | Joule/kg |
|-------------------------|----------|
| Karet alam ter vulkanis | 44800 |
| Kayu Hickory | 365 |
| Pegas Baja | 284 |
| Rol aluminium | 22.6 |
| Phosphorbronze | 12.2 |
| Baja sangat lunak | 9.18 |
| Besi tuang | 1.11 |

Pada penelitian ini isolasi dasar yang digunakan adalah *High Damping Rubber Bearing-HDRB*. Perbedaan kedua jenis isolasi dasar karet ini adalah bahan karet yang digunakan, yang lebih spesifiknya ialah bahan karet yang digunakan pada *High Damping Rubber Bearing* lebih baik dalam kualitas nya dibandingkan bahan karet yang digunakan pada *lead Rubber Bearing-LRB*. Berikut pada **Gambar 2.2** adalah isolasi dasar jenis *lead rubber bearing-LRB*.

**Gambar 2. 2** Komposisi Lead Rubber Bearing

(Sumber: *Well industries co.,ltd.*)

2.4. *High Damping Rubber Bearing (HDRB)*

High Damping Rubber Bearing (HDRB) adalah salah satu *isolator* seismik yang banyak digunakan saat ini. Memiliki jenis karet yang lebih baik meredam gaya gempa membuat jenis ini menjadi unggulan dibanding jenis *Lead Rubber Bearing-LRB*. Spesifikasi *High Damping Rubber Bearing* yang digunakan dalam penelitian ini mengacu kepada produk pabrik *Bridgestone* (2015) yang sudah teruji secara eksperimental. Jenis *High Damping Rubber Bearing (HDRB)* memiliki 3 jenis sesuai dengan *Bridgestone* 2015, yaitu MVBR-0516 (X0.3R

Series), MVBR-0510/MVBR-0519 (X0.4S Series), dan MVBR-0514/MVBR-0520 (X0.6R Series).

a. Material

Untuk hasil dari pengujian bahan material karet ini menggunakan temperatur standar sekitar 20⁰. Pada tabel 2. 2 memperlihatkan perbandingan antara 3 jenis *High Damping Rubber Bearing* (HDRB). dan untuk tabel 2.3 menampilkan material baja yang digunakan di dalam *High Damping Rubber Bearing* (HDRB).

Tabel 2. 2 Rubber Material

| <i>Compound name</i> | Kode Karet | <i>Shea Modulus</i> | Damping Rasio |
|----------------------|------------|------------------------|---------------|
| | | G (N/mm ²) | |
| X3R | X0.3R | 0.300 | 0.17 |
| X4S | X0.4S | 0.392 | 0.24 |
| X6R | X0.6R | 0.620 | 0.24 |

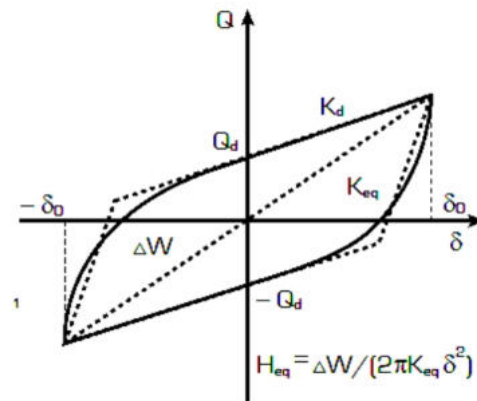
Tabel 2. 3 Steel material

| | <i>Material</i> |
|-------------------------|--------------------|
| Pelat baja | SS400 (JISG 3 101) |
| <i>flange</i> | SS400 (JISG 3 101) |
| <i>connecting plate</i> | SS400 (JISG 3 101) |

Untuk penggunaan *Mid-Story Isolation* terdapat satu series yang dinyatakan tidak layak untuk dipergunakan, yaitu seri HS110X4S, atau juga seri dengan kode X0.4S. Seri tersebut tidak bisa dipasang anti api, jadi jika terjadi kebakaran di dalam gedung hal tersebut bisa cukup fatal untuk terjadi.

b. Shear Properties

Mengacu pada brosur *Base Isolator "Bridgestone, 2015"*, jenis *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) yang ada disajikan dalam bentuk kurva histeris yang terdapat pada gambar 2.3 di bawah ini. Kegunaan kurva ini bisa membantu pemilihan Jenis *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) yang cocok untuk digunakan.



Gambar 2. 3 Kurva Histeris *High Damping Rubber Bearing* (HDRB)

Keterangan :

$$K_{eq} = \frac{G_{eq} A}{H}$$

$$K_1 = 10.K_2$$

$$K_2 = K_{eq}(1-u)$$

$$Q_d = u.K_{eq}.H.\gamma$$

K1 = Kekakuan awal

K2 = Kekakuan Pasca Leleh

Keq = kekakuan Horizontal Ekivalen

Qd = Kekuatan karakteristik

U = Rasio antara kekuatan karakteristik terhadap kekuatan geser maksimum (Qd/shear strength).

2.4.1. Prosedur Desain *High Damping Rubber Bearing* (HDRB)

Prosedur desain untuk *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) dijelaskan pada langkah-langkah berikut.

1. Menentukan kondisi tanah di mana struktur akan dibangun, untuk penggunaan *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) tidak bisa di gunakan pada kondisi tanah yang lunak, karena bisa tidak memaksimalkan perfoma dari *isolator* tersebut.
2. Pilih produk yang sesuai pada pabrikan dengan mempertimbangkan beberapa variabel-variabel mekanis yang cukup penting mengenai HDRB contohnya, regangan geser desain γ_{max} , rasio redaman efektif, atau juga periode desain T_D struktur, biasanya sebelum melakukan desain HDRB, sudah harus melakukan

analisis struktur pada struktur tanpa penggunaan *isolator*. Untuk nilai mencari T_D disesuaikan dengan SNI 1726:2019 pasal 12.4.1 point 5.

3. Gunakan rumus dari *code* untuk mendapatkan diameter HDRB, atau berdasarkan analisis statis atau dinamis yang sebelumnya telah dilakukan pada struktur tanpa *isolator*, gunanya untuk menentukan kekakuan horizontal efektif, K_{eff} atau juga K_H Pada **Persamaan 2.1** dan menentukan estimasi luasan HDRB pada **Persamaan 2.2**. (Neim & Kelly,1999)

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

Dimana:

K_H = kekakuan struktur

W = Berat per struktur kolom

T_D = Periode getar rencana

$$K_{H'} = \frac{G \times A}{t_r} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

$K_{H'}$ = kekakuan elastomer

G = modulus geser elastomer

A = luasan elastomer

t_r = ketebalan total dari elastomer

Maka, didapatkan :

$$K_H = K_{H'}$$

$$W \times \left(\frac{2\pi}{T_D}\right)^2 = \frac{G \times A}{t_r}$$

$$A = \frac{w \times \left(\frac{2\pi}{T_D}\right)^2}{G \times A} \times t_r \dots\dots\dots(2.3)$$

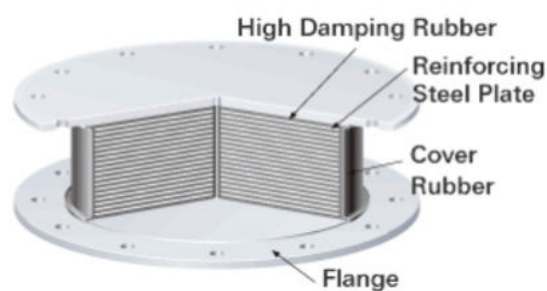
Menentukan diameter HDRB dengan rumus :

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} \dots\dots\dots(2.4)$$

4. Memilih properti material. Diantaranya modulus Young (E) dan Modulus Geser (G) dari laporan pengujian pabrikan.

5. Nilai Diameter yang didapat di cocokkan dengan diameter luar dari produk pabrik dan juga diameter yang digunakan untuk *isolator* bisa menyamakan dengan diameter kolom untuk mempermudah pemasangan *isolator* tersebut.

Berikut adalah bentuk dari *High damping rubber Bearing* (HDRB) yang menunjukkan di dalam *isolator* tersebut terdapat pelat baja, pelindung karet, serta *flange*, pada gambar 2.4 juga menampilkan bentuk dari *isolator* tersebut berbentuk lingkaran.

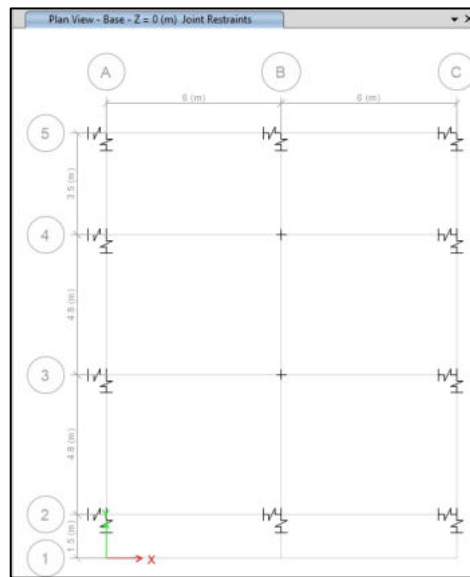


Gambar 2. 4 Komposisi High Damping Rubber Bearing

(Sumber: Research Gate,2017)

2.5. Perletakan *Isolator*

Perletakan *isolator* pada dasar bangunan sudah menjadi hal wajar saat menggunakannya. Perletakan ini juga sudah berhasil dilakukan untuk meredam beberapa respons seismik yang diinginkan. Untuk penelitian ini perletakan atau penempatan *isolator* berada di tiap ujung bangunan seperti **Gambar 2.5**. Jumlah *isolator* yang di gunakan di pangkas guna mempertimbangkan biaya operasional bangunan.



Gambar 2. 5 Perletakan *Isolator*

2.6. Standar yang digunakan dalam Penelitian

Standar yang digunakan dalam penelitian Analisis Variasi Penempatan *Isolator* pada Gedung Bertingkat menggunakan Metode *Pushover Analysis* adalah sebagai berikut :

- Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk Struktur bangunan Gedung dan Non gedung (SNI 1726:2019).
- Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain (SNI 1727:2020).
- Brosur *bridgestone* 2015.
- Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2019).

2.7. Data yang akan digunakan dalam Penelitian

Data yang diperlukan dalam penelitian tentang Analisis Variasi Penempatan *Isolator* pada Gedung bertingkat menggunakan Metode *Pushover Analysis* adalah sebagai berikut:

2.7.1. Pembebanan

Pembebanan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan pembebanan berdasarkan SNI 1727:2020 tentang Beban minimum untuk Perancangan bangunan gedung dan Struktur lain. Beban yang digunakan antara lain:

a. Beban Hidup (LL)

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan penghunian atau penggunaan suatu gedung dimana di dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang kondisinya bisa bergerak. Pemilihan beban hidup pada perencanaan struktur ditentukan dari fungsi bangunannya. Beban hidup yang digunakan untuk analisis penelitian ini adalah beban hidup untuk kantor di lantai 1-6 dan beban hidup untuk tempat tinggal di lantai 7-12.

b. Beban Mati (DL)

Beban mati adalah semua beban dari berat bangunan, termasuk segala unsur tambahan tetap yang merupakan suatu kesatuan dengan bangunannya. Beban mati yang diperhitungkan terdiri dari, berat kolom sendiri, Berat sendiri balok induk dan balok anak, serta Berat pelat lantai. Untuk Penelitian ini Beban Mati dihitung langsung oleh *Software* ETABS dimana hanya menentukan material bahan bangunan yang akan digunakan yaitu, beton bertulang.

c. Beban Mati Tambahan (SiDL)

Beban mati tambahan adalah beban-beban yang berasal dari beban mati tambahan yang sifatnya beban konstruksi, seperti penutup lantai, alat mekanis, dan partisi. Perhitungan besaran beban mati suatu elemen dilakukan dengan meninjau berat satuan material tersebut berdasarkan volume elemen.

d. Beban Gempa (EQ)

Beban gempa adalah semua beban *static equivalent* yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan gerakan tanah akibat gempa itu sendiri. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisis dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa

di sini adalah gaya-gaya dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa tersebut.

e. Beban Atap (R)

Beban atap adalah beban yang terjadi pada atap bangunan. Beban atau terjadi ketika atap bangunan yang direncanakan sesuai dengan fungsi bangunannya.

2.7.2. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan untuk penelitian ini sudah sesuai dengan SNI 1726:2019 tentang Tata cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk struktur bangunan gedung dan Non-gedung. Kombinasi pembebanan diuraikan tertera pada **Tabel 2.4** di bawah ini.

Tabel 2. 4 Kombinasi Pembebanan untuk bangunan Gedung

| No. | Kombinasi Pembebanan |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | $1.4DL + 1.4SiDL$ |
| 2 | $1.2DL + 1.2SiDL + 1.6LL + 0.5R$ |
| 3 | $1.2DL + 1.2SiDL + LL + 1.6R$ |
| 4 | $1.2DL + 1.2SiDL + LL + 0.5R$ |
| 5 | $0.9DL + 0.9SiDL$ |
| 6 | $(1.2 + 0.2S_{ds})DL + (1.2 + 0.2S_{ds})SiDL + LL + (1\rho)E_{qx} + (0.3\rho)E_{qv}$ |
| 7 | $(1.2 + 0.2S_{ds})DL + (1.2 + 0.2S_{ds})SiDL + LL + (1\rho)E_{qx} - (0.3\rho)E_{qv}$ |
| 8 | $(1.2 + 0.2S_{ds})DL + (1.2 + 0.2S_{ds})SiDL + LL - (1\rho)E_{qx} + (0.3\rho)E_{qv}$ |
| 9 | $(1.2 + 0.2S_{ds})DL + (1.2 + 0.2S_{ds})SiDL + LL - (1\rho)E_{qx} - (0.3\rho)E_{qv}$ |
| 10 | $(1.2 + 0.2S_{ds})DL + (1.2 + 0.2S_{ds})SiDL + LL + (0.3\rho)E_{qx} + E_{qv}$ |
| 11 | $(1.2 + 0.2S_{ds})DL + (1.2 + 0.2S_{ds})SiDL + LL + (0.3\rho)E_{qx} - (1\rho)E_{qv}$ |
| 12 | $(1.2 + 0.2S_{ds})DL + (1.2 + 0.2S_{ds})SiDL + LL - (0.3\rho)E_{qx} + (1\rho)E_{qv}$ |
| 13 | $(1.2 + 0.2S_{ds})DL + (1.2 + 0.2S_{ds})SiDL + LL - (0.3\rho)E_{qx} - (1\rho)E_{qv}$ |
| 14 | $(0.9 - 0.2S_{ds})DL + (0.9 - 0.2S_{ds})SiDL + (1\rho)E_{qx} + (0.3\rho)E_{qv}$ |
| 15 | $(0.9 - 0.2S_{ds})DL + (0.9 - 0.2S_{ds})SiDL + (1\rho)E_{qx} - (0.3\rho)E_{qv}$ |
| 16 | $(0.9 - 0.2S_{ds})DL + (0.9 - 0.2S_{ds})SiDL - (1\rho)E_{qx} + (0.3\rho)E_{qv}$ |
| 17 | $(0.9 - 0.2S_{ds})DL + (0.9 - 0.2S_{ds})SiDL - (1\rho)E_{qx} - (0.3\rho)E_{qv}$ |
| 18 | $(0.9 - 0.2S_{ds})DL + (0.9 - 0.2S_{ds})SiDL + (0.3\rho)E_{qx} + (1\rho)E_{qv}$ |
| 19 | $(0.9 - 0.2S_{ds})DL + (0.9 - 0.2S_{ds})SiDL + (0.3\rho)E_{qx} - (1\rho)E_{qv}$ |
| 20 | $(0.9 - 0.2S_{ds})DL + (0.9 - 0.2S_{ds})SiDL - (0.3\rho)E_{qx} + (1\rho)E_{qv}$ |
| 21 | $(0.9 - 0.2S_{ds})DL + (0.9 - 0.2S_{ds})SiDL - (0.3\rho)E_{qx} - (1\rho)E_{qv}$ |
| 22 | ENVELOPE |

2.7.3. Respons Spektrum

Untuk mendapatkan data Respons Spektrum yang digunakan dalam merencanakan gempa, dapat dari <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>. Data yang di masukan ke dalam aplikasi adalah lokasi bangunan dan jenis tanahnya.

2.7.4. Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko bangunan dan faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726:2019 dapat dilihat pada **Tabel 2.5**.

Tabel 2. 5 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan non Gedung

| Jenis Pemanfaatan | Kategori |
|-------------------|----------|
|-------------------|----------|

| | Resiko |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan – Fasilitas sementara – Gudang Penyimpanan – Rumah jaga dan struktur kecil lainnya | I |
| <p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Perumahan <li style="border: 2px solid red;">– Rumah toko dan rumah kantor – Pasar – Gedung Perkantoran – Gedung Apartemen/rumah susun – Pusat perbelanjaan/mall – Bangunan Industri – Fasilitas manufaktur – Pabrik | II |
| <p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibahas untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Bioskop – Gedung pertemuan – Stadion – Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat – Fasilitas penitipan anak – Penjara – Bangunan untuk orang jompo | III |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk ke dalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> — Pusat pembangkit listrik biasa — Fasilitas penanganan air — Fasilitas penanganan limbah — Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, dan penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang di syarat kan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p> | |
| <p>Gedung dan non gedung yang di kategori kan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> — Bangunan-bangunan monumental — Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan — Rumah ibadah — Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat — Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat — Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya — Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas | IV |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <p>lainnya untuk tanggap darurat</p> <ul style="list-style-type: none"> – Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat – Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang di syaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p> | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

Tabel 2. 6 Faktor keutamaan gempa

| Kategori Risiko | Faktor keutamaan gempa, I_e |
|-----------------|-------------------------------|
| I atau II | 1.0 |
| III | 1.25 |
| IV | 1.50 |

2.7.5. Pemilihan Sistem Struktur

Pemilihan sistem struktur yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada SNI 1726:2019 tentang Tatacara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung yang dapat dilihat pada **Tabel 2.7**.

Tabel 2. 7 R,Cd untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

| No | Sistem Penahan-gaya sentrik | Koefisien Modifikasi Respons [R] | Faktor Pembesaran Defleksi [Cd] |
|------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Sistem rangka pemikul momen | | | |
| 1 | Rangka baja pemikul momen khusus | 8 | 5,5 |
| 2 | Rangka batang baja pemikul momen khusus | 7 | 5,5 |

| | | | |
|----|----------------------------------------------------------------|-----|-----|
| 3 | Rangka baja pemikul momen menengah | 4,5 | 4 |
| 4 | Rangka baja pemikul momen biasa | 3,5 | 3 |
| 5 | Rangka beton bertulang pemikul momen khusus | 8 | 5,5 |
| 6 | Rangka beton bertulang pemikul momen menengah | 5 | 4,5 |
| 7 | Rangka beton bertulang pemikul momen biasa | 3 | 2,5 |
| 8 | Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus | 8 | 5,5 |
| 9 | Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah | 5 | 4,5 |
| 10 | Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen | 6 | 5,5 |
| 11 | Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa | 3 | 2,5 |
| 12 | Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan | 3,5 | 3,5 |

2.7.6. Periode Fundamental Pendekatan (T_a)

Berdasarkan SNI 1726:2019. Periode fundamental pendekatan batas bawah ditentukan oleh Persamaan 2.5

$$T_{a \text{ minimum}} = C_t \times h_n^x \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

C_t = nilai koefisien berdasarkan **Tabel 2.8**.

h_n^x = tinggi struktur bangunan [m].

Periode fundamental pendekatan batas atas ditentukan dengan Persamaan 2.6.

$$T_{a \text{ maksimum}} = C_u \times T_{a \text{ minimum}} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

C_u = nilai koefisien berdasarkan **Tabel 2.8**.

Tabel 2. 8 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

| Parameter Respon Spektral Desain pada 1 detk, S_{DI} | Koefisien C_u |
|-----------------------------------------------------------|-----------------|
| > 0,4 | 1,4 |
| 0,3 | 1,4 |
| 0,2 | 1,5 |
| 0,15 | 1,6 |
| $\leq 0,1$ | 1,7 |

Tabel 2. 9 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan α

| Tipe Struktur | C_t | α |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|
| Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 persen gaya gempa yang diisyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya 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 |

2.7.7. Gaya Geser Dasar Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019 gaya geser seismik dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 2.7

$$V = C_s \alpha W \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

C_s = koefisien respons seismik,

W = berat seismik efektif [kN].

Koefisien respons seismik, C_s hitung harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 2.8.

$$C_s \text{ hitung} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode pendek,

R = koefisien modifikasi respon, dicantumkan pada **Tabel 2.7**.

I_e = faktor keutamaan gempa, dicantumkan pada **Tabel 2.6**.

Nilai C_s yang dihitung sesuai Persamaan 2.5 tidak boleh lebih dari Persamaan 2.9.

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots \dots \dots (2.9)$$

Nilai C_s yang dihitung sesuai Persamaan 2.5 tidak boleh kurang dari Persamaan 2.10.

$$C_s = 0.044 S_{DS} I_e \geq 0.01 \dots \dots \dots (2.10)$$

2.7.8. Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726:2019 nilai simpangan antar lantai izin harus lebih besar dari selisih defleksi terbesar antar lantai. Persamaan defleksi pusat massa dapat dilihat pada persamaan 2.11.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \dots \dots \dots (2.11)$$

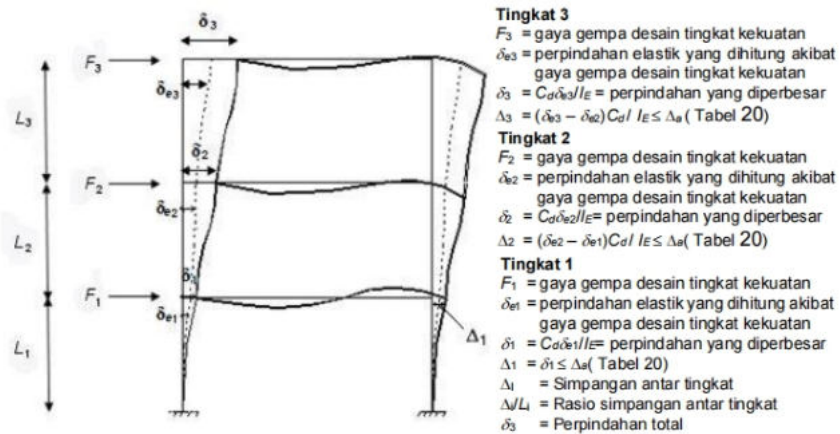
Dimana :

C_d = faktor pembesaran defleksi, dicantumkan pada tabel 2.7,

δ_{xe} = perpindahan maksimum pada lokasi lantai yang ditinjau (didapat langsung dari program ETABS) [mm],

I_e = faktor keutamaan gempa dapat, dicantumkan pada Tabel 2.6.

Perhitungan untuk mendapatkan simpangan antar lantai desain dapat dilihat pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2. 6 Penentuan simpangan antar tingkat

Persamaan simpangan antar lantai izin didasarkan pada kategori risiko ketinggian setiap tingkat (h_{sx}) seperti pada Tabel 2.10.

Tabel 2. 10 Simpangan Antar Lantai

| Struktur | Kategori Risiko | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------|----------------|
| | 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 di desain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat | 0,025 h_{sx} | 0,020 h_{sx} | 0,015 h_{sx} |
| Struktur dinding geser kantilever batu bata | 0,010 h_{sx} | 0,010 h_{sx} | 0,010 h_{sx} |
| Struktur dinding geser batu bata lainnya | 0,007 h_{sx} | 0,007 h_{sx} | 0,007 h_{sx} |
| Semua struktur lainnya | 0,020 h_{sx} | 0,015 h_{sx} | 0,010 h_{sx} |

2.7.9. Pengaruh P-delta

Pengaruh P-delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang di akibatkan nya tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan oleh Persamaan 2.12 sama dengan atau kurang dari 0,10:

$$\theta = \frac{P_x \Delta_e}{V_x h_{sx} C_d} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana :

- P_x = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat-x (kN); bila menghitung P_x , faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0;
- Δ = simpangan antar tingkat desain;
- I_e = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan Tabel 2.6;
- V_x = gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan x - 1 (kN);
- h_{sx} = tinggi tingkat (mm);
- C_d = faktor pembesaran defleksi sesuai dengan Tabel 2.7.

Koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi $\theta_{maksimum}$ yang ditentukan sebagai berikut:

$$\theta = \frac{0,5}{\beta C_d} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara lantai x dan x-1. Rasio ini diizinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0. Jika θ lebih besar dari $\theta_{maksimum}$, struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang.

2.7.10. Modal Partisipasi Massa

Berdasarkan SNI 1726:2019 nilai analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi masa ragam ter kombinasi sebesar paling sedikit 100% dari masa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model. Perlu diketahui untuk penelitian ini nilai yang dicantumkan pada arah sebaliknya yang ada nilainya itu tidak mutlak 0% sebenarnya memiliki nilai dengan banyak koma di belakangnya, jadi untuk menyederhanakan penulisan ditulis angka 0%.

2.8. Analisis Statik Beban Dorong (*Static Pushover Analysis*)

Analisis statik beban dorong (*Pushover*) adalah suatu analisis statik nonlinier dimana, pengaruh Gempa Rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban

lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang besar sampai mencapai kondisi plastik. (Pranata, Y.A, 2006)

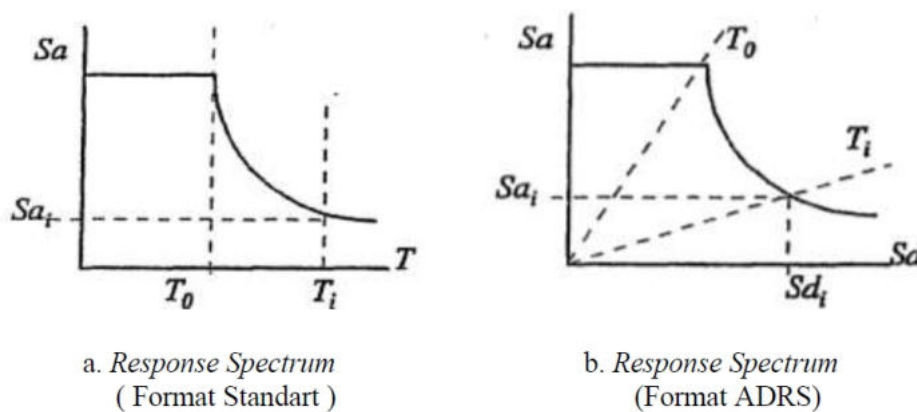
Tujuan analisis beban dorong adalah mengevaluasi perilaku seismik struktur terhadap beban Gempa Rencana, yaitu memperoleh nilai μ_{Δ} aktual dan R aktual struktur, memperlihatkan skema keelehan (distribusi sendi plastis) yang terjadi. (Pranata, Y.A, 2006). Untuk dapat menyederhanakan prosedur analisis dengan menggunakan analisis statik beban dorong, dibutuhkan informasi 3 elemen paling penting yaitu kurva kapasitas, kurva demand dan titik kinerja struktur.

2.8.1. Kurva Kapasitas (*Capacity Curve*)

Kurva kapasitas adalah perbandingan nilai gaya geser dasar (*base shear*) dengan perpindahan nilai simpangan antar lantai yang sebelumnya akan dibebani hingga struktur roboh. Kurva kapasitas juga termasuk sebagai hasil dari metode *pushover analysis*. Kurva kapasitas akan memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku non-linier. Perubahan perilaku struktur dari linier menjadi non-linier berupa penurunan kekakuan yang dari adanya penurunan kemiringan kurva akibat terbentuknya sendi plastis pada balok dan kolom. Pada saat struktur yang ditinjau memiliki beban yang berlebih sehingga membuat kapasitasnya bertambah maka akan muncul sendi plastis diantara struktur tersebut, keberadaan sendi plastis juga sangat berguna untuk sebuah bangunan, posisi sendi plastis yang terjadi untuk struktur tahan gempa yang baik adalah sendi plastis harus berada di muka kolom dan pada ujung kaki kolom dasar dengan tujuan agar struktur bisa menyerap energi gempa dengan baik.

2.8.2. Kurva Demand

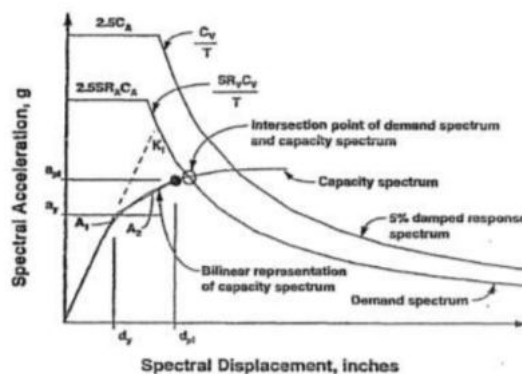
Demand adalah respons maksimum suatu struktur terhadap gempa yang terjadi. Kurva *demand* didapatkan dengan cara mengubah kurva standar respons spektrum hubungan antara percepatan respons spektra (S_a) dengan waktu (T) menjadi kurva *Acceleration Displacement Response Spectra (ADRS)* hubungan antara percepatan respons spektra (S_a) dengan perpindahan spektra (S_d) seperti terlihat pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2. 7 Perubahan format respon percepatan menjadi ADRS

2.8.3. Titik Kinerja (*Performance Point*)

Performance point adalah titik dimana *capacity curve* berpotongan dengan *response spectrum curve* seperti yang dipergunakan dalam *capacity spectrum method* (ATC-40,1996). Untuk memperoleh gambaran lebih jelas, dapat dilihat pada gambar 2.6.



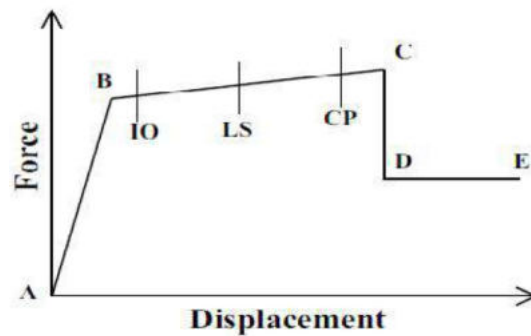
Gambar 2. 8 Penentuan Performance Point

2.8.4. Tingkat Kinerja

Tingkat Kinerja atau juga *Life Safety* adalah kondisi di mana jika struktur mengalami kerusakan yang cukup parah akan tetapi keselamatan penghuni di dalamnya masih bisa terjaga karena kondisi struktur yang tidak runtuh seluruhnya. Tingkat kinerja bangunan (ATC-40, 1996) dibedakan menjadi lima tingkat, bisa dilihat pada **Gambar 2.8** dan **Tabel 2.11** sebagai berikut:

Tabel 2. 11 Tingkat Kinerja

| Tingkat Kinerja | Pengertian |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Immediate Occupancy</i> (IO) | Saat terjadi gempa, struktur mampu menahan gempa, struktur tidak mengalami kerusakan struktural maupun non struktural. Sehingga, bisa langsung digunakan |
| <i>Damage Control</i> | Bukan termasuk tingkat kinerja, melainkan Kondisi saat setelah gempa Kerusakan struktur yang terjadi berada dalam <i>range</i> IO dan LS. |
| <i>Life Safety</i> (LS) | Saat terjadi gempa, struktur mampu menahan gempa, struktur mengalami sedikit kerusakan struktur, tetapi keselamatan manusia yang berada di dalam struktur masih terjaga. |
| <i>Limited Safety</i> | Bukan Tingkat Kinerja, melainkan kondisi yang menjelaskan bahwa saat gempa telah terjadi, kerusakan struktur berada di <i>range</i> antara LS dan CP |
| <i>Structural Stability/Collapse Prevention</i> (CP) | Setelah gempa terjadi kondisi struktur rusak parah, struktur bisa runtuh secara keseluruhan ataupun beberapa bagian saja. Tetapi sifat struktur masih Stabil, kemungkinan untuk adanya korban jiwa sangat besar. Dalam dokumen FEMA 273, kondisi <i>Structural Stability</i> dikenal dengan istilah <i>Collective Prevention</i> (CP). |



Gambar 2. 9 Hubungan gaya dengan perpindahan pada level kerja tertentu

2.9. Daktilitas Struktur

Daktilitas adalah kemampuan struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastic yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa dan menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung masih tetap berdiri walaupun, sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan. Nilai Daktilitas yang besar membuat elemen struktur yang ada akan menerima lebih banyak energi saat terjadi gempa dibanding dengan yang memiliki nilai daktailitas yang kecil. Nilai Daktailitas peralihan aktual struktur (μ_{Δ}) diperoleh dengan menggunakan Persamaan 2.12.

$$\mu_{\Delta} = \frac{\delta_u}{\delta_y} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

μ_{Δ} = Daktilitas Struktur

δ_u = Peralihan atap pada kondisi ultimit atau target peralihan

δ_y = Peralihan atap pada saat leleh pertama

Untuk mendapatkan nilai daktilitas setiap struktur yang dianalisis, nilai *displacement* di titik kinerja digunakan sebagai parameter peralihan ultimit (δ_u) sedangkan untuk parameter peralihan leleh pertama (δ_y) menggunakan hasil analisis kurva kapasitas yang menunjukkan adanya sendi plastis terbentuk pertama kali.

2.10. Ketidakberaturan Struktur

Suatu struktur bangunan harus diklasifikasikan sebagai struktur bangunan beraturan atau tidak beraturan, hal ini berdasarkan kriteria-kriteria yang telah ditetapkan dalam peraturan SNI 1726:2019 pada Pasal 7.3.2.

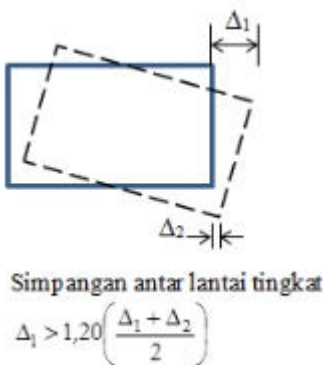
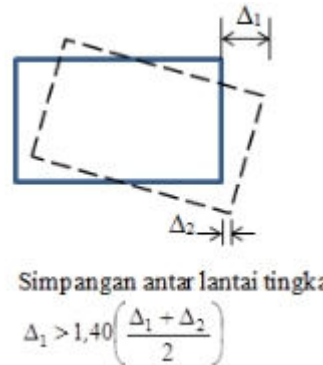
Ketidakberaturan struktur dibedakan menjadi dua yaitu, Ketidakberaturan Horizontal dan Ketidakberaturan Vertikal. Ketidakberaturan Horizontal ditetapkan berdasarkan kepada ketidakberaturan arah sumbu xy, sedangkan Ketidakberaturan vertikal ditetapkan berdasarkan arah sumbu xz atau yz.

Struktur yang sudah dikategorikan sebagai struktur yang memiliki ketidakberaturan horizontal atau vertikal harus memenuhi persyaratan tambahan tertentu, sehingga menjamin keamanan penggunaan bangunan gedung tersebut. Persyaratan tambahan tersebut akan berbeda sesuai dengan jenis-jenis ketidakberaturan horizontal maupun ketidakberaturan vertikal. Pada penelitian ini akan difokuskan mengecek ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b atau juga Ketidakberaturan Torsi pada gedung dengan 12 lantai.

2.10.1 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b

Berdasarkan peraturan SNI 1726:2019 yang mengatur ketidakberaturan horizontal, ketidakberaturan ini memiliki beberapa jenis yang berbeda, salah satunya adalah Ketidakberaturan Horizontal tipe 1.a dan ketidakberaturan horizontal tipe 1.b yang biasanya disebut juga Ketidakberaturan Torsi. Perbedaan antara Ketidakberaturan Horizontal tipe 1.a dan tipe 1.b adalah seperti yang ada di tabel berikut.

Tabel 2. 12 Perbedaan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b.

| No | Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan | Ilustrasi Grafis | Langkah Perbaikan | Penerapan KDS |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------|
| 1.a | Ketidakteraturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku untuk setengah kaku. |  <p>Simpangan antar lantai tingkat</p> $\Delta_1 > 1,20 \left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right)$ | 1 | D,E,F |
| | | | 2 | C,D,E,F |
| | | | 3 | B,C,D,E,F |
| | | | 4 | C,D,E,F |
| | | | 5 | D,E,F |
| 1.b | Ketidakteraturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku. |  <p>Simpangan antar lantai tingkat</p> $\Delta_1 > 1,40 \left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right)$ | 6 | E,F |
| | | | 1 | D |
| | | | 3 | B,C,D |
| | | | 2 | C,D |
| | | | 4 | C,D |
| 5 | D | | | |

Tabel 2. 13 Langkah Perbaikan Ketidakberaturan Horizontal

| No. | Langkah Perbaikan | Pasal Terkait pada SNI 1726-2019 |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| 1 | Gaya desain berdasarkan prosedur statik ditingkatkan sebesar 25% untuk sambungan diafragma dengan elemen-elemen vertikal dan dengan elemen kolektor, dan untuk elemen kolektor dan sambungannya, termasuk sambungan-sambungan ke elemen vertikal, dari sistem penahan gaya seismik | 7.3.3.4 |
| 2 | kalikan momen torsi tak terduga M_n di masing-masing tingkat dengan faktor pembesaran torsi $A_x \leq 3.0$ | 7.8.4.3 |
| 3 | Melakukan analisis dinamik 3D dengan memperhitungkan kekakuan diafragma. Untuk elemen beton harus menggunakan properti penampang retak serta memperhitungkan pengaruh $P-\Delta$ | 7.7.3 |
| 4 | Hitung simpangan antar tingkat, Δ , sesuai persyaratan tabel 15.11 | 7.12.1 |
| 5 | Gunakan model analisis atau prosedur yang lebih ketat | Tabel 7.6.1 |
| 6 | Tidak diijinkan | 7.3.3.1 |

2.10.2 Torsi Bawaan

Untuk diafragma yang tidak fleksibel, distribusi gaya lateral di masing-masing tingkat harus memperhitungkan pengaruh momen torsi bawaan, yang dihasilkan dari eksentrisitas antara lokasi pusat massa dan pusat kekakuan. Untuk diafragma fleksibel, distribusi gaya ke elemen vertikal harus memperhitungkan posisi dan distribusi massa yang diidukungnya.

2.10.3 Torsi Tak Terduga

Sesuai dengan Peraturan yang digunakan yaitu, SNI 1726-2019, Torsi tak terduga menyatakan bahwa harus memberikan eksentrisitas 5% dari lebar dimensi denah, berlaku untuk kedua arah gempa, yaitu arah x dan arah y. Torsi Tak Terduga harus diaplikasikan ke semua struktur untuk menentukan keberadaan ketidakberaturan horizontal.

Ketidakberaturan 1a dan 1b bisa terjadi di gedung apapun, untuk mengatasi ketidakberaturan tersebut perlu adanya Pembesaran Torsi Tak terduga, dimana ada faktor pembesaran torsi (A_x) yang tertera di rumus :

$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1.2\delta_{avg}} \right)^2 \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

δ_{max} = perpindahan maksimum di tingkat x (mm) yang dihitung dengan mengasumsikan $A_x = 1$ mm.

δ_{avg} = rata-rata peprindahan titik terjauh struktur di tingkat x yang dihitung dengan mengasumsikan $A_x = 1$ mm.

Faktor pembesaran torsi (A_x) tidak boleh kurang dari 1 dan tidak perlu melebihi 3,0. Pembebanan yang lebih parah untuk masing-masing elemen harus ditinjau untuk desain.

2.11. Penelitian Sebelumnya

Tabel 2. 14 Perbandingan Penelitian Sebelumnya dengan Penelitian yang Dilakukan

| No | Peneliti | Judul Penelitian | Perencanaan Struktur | Parameter yang diteliti | Hasil Penelitian |
|----|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Ardiansyah Ibrahim (2019) | Kajian Respon Bangunan Menggunakan <i>base isolator</i> Pada Gedung bertingkat Sistem pracetak dan Sistem <i>cast In situ</i> | 1. Struktur beton bertulang 10 Lantai 2. Analisis Metode <i>pushover</i> | Respon struktur bangunan antar gedung bertingkat dengan sistem pracetak dan <i>cast in situ</i> dengan dan tanpa <i>base isolator</i> | Hasil Respon Struktur bangunan gedung dengan sitem pracetak yang menggunakan <i>base isolator</i> dinilai lebih efektif dibanding dengan yang <i>cast in situ</i> |
| 2 | Bogazici University (2012) | Mid-Story Seismic Isolation | 1. Struktur beton bertulang 6 lantai 2. Analisis Time History | Respon struktur terhadap mid-story isolation, yaitu beberapa variasi penempatan base isolator yang berada di bawah (<i>fixed base</i>), di tengah-tengah gedung, dan diatas kolom pada lantai pertama | Penggunaan teknik mid-story ini sama efektifnya dengan penggunaan base isolator yang penempatannya dibawah (<i>fixed base</i>) serta teknik mid-story isolation ini cocok untuk bangunan gedung yang memiliki beberapa fungsi gedung yang berbeda, |
| 3. | Pranav Thakur, Susanta Kumar, Sethy, Mukesh Kumar Dubey (2019) | Inter Story Isolation System | 1. Struktur Beton Bertulang 14 lantai 2. Modal dan Time History Analysis | Respon Struktur dengan menggunakan sistem inter-story isolation | Hasil respon struktur tereduksi oleh adanya isolasi dasar yang digunakan, karena penempatan di antara story bangunan, kekakuan isolasi dasar berkurang karena beban aksial yang lebih sedikit, serta bisa meningkatkan kekakuan pada bangunan yang berada di atas isolasi dasar dan bisa membuat bangunan tersebut menjadi multifungsi, juga memungkinkan penggunaan sistem arsitektural dan sistem struktur yang baru pada bangunan. |
| 4 | Ingki Samasya (2017) | Evaluasi Aplikasi Penggunaan Base Isolator pada Gedung Grand Keisha Menggunakan Analisa Pushover | 1. Struktur beton bertulang 14 lantai 2. Analisis Metode Pushover | Respon Struktur dan Tingkat kinerja struktur dengan metode analisis pushover | struktur bangunan yang menggunakan base isolator memiliki nilai level kinerja yang lebih baik yaitu B (operasional) dimana tidak ada kerusakan berarti pada struktur dan non-struktur, bangunan tetap berfungsi. |
| 5 | Tazha Arifin (2021) | Analisis variasi penempatan base isolator pada gedung bertingkat dengan Metode Analisis Pushover (ATC-40) | 1. Struktur beton bertulang (<i>cast-Insitu</i>) 12 lantai 2. Analisis Metode Pushover (ATC-40) | Respon struktur dari setiap penempatan base isolator yang akan diterapkan di gedung tersebut dan Tingkat Kinerja Struktur | Hasil Respon struktur dari setiap metode penempatan base isolator dan memilih penempatan yang terbaik. Dan Tingkat Kinerja Struktur setelah pemasangan base isolator. |