

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Pada saat ini pembangunan gedung bertingkat di Indonesia semakin banyak dipergunakan, Bangunan bertingkat umumnya digunakan sebagai gedung-gedung pemerintah seperti perkantoran dan rumah sakit, Selain itu pembangunan gedung bertingkat di Indonesia dapat juga dijadikan sebagai investasi seperti apartement, hotel, mall, dan lain lain (Purba, 2014). Hal ini mengakibatkan kebutuhan akan lahan yang luas semakin sulit diperoleh sehingga pembangunan gedung bertingkat akan berpengaruh pada bentuk bangunan apabila tidak dilakukan pengaturan yang lebih ketat oleh pihak terkait.

Pengaruh gaya gempa akan berbeda jika diaplikasikan terhadap bangunan beraturan dan tidak beraturan dampaknya akan mempengaruhi daya tahan gaya gempa terhadap bangunan tersebut yang pastinya akan berbeda.

Kinerja struktur yang dihasilkan untuk gedung tidak beraturan akan berbeda dengan gedung beraturan untuk intensitas beban yang sama, misalnya jika dibandingkan terhadap simpangan (displacement), simpangan antar lantai (Drift), dan penulangannya (Purba, 2014). Pada peraturan perencanaan ketahanan gempa yang terbaru (BSN, 2019), diatur mengenai ketidakberaturan struktur, yaitu ketidakberaturan horizontal dan vertikal. Ketidakberaturan horizontal ditetapkan berdasarkan kepada ketidakberaturan arah sumbu xy sedangkan ketidakberaturan vertikal ditetapkan berdasarkan arah sumbu xz atau yz (Purba, 2014).

Salah satu penyebab ketidakberaturan struktur bangunan adalah karena kebutuhan arsitektur, misalnya keberadaan ruang mesin atau gudang dalam suatu tingkat pada suatu gedung. Kasus lainnya adalah suatu tingkat dalam gedung yang direncanakan akan berfungsi sebagai area kolam renang. Perubahan fungsi ruang tersebut biasanya dilakukan berdasarkan pertimbangan efisiensi pemanfaatan ruang dari segi pembiayaan dan ketersediaan lahan.

Pada penelitian ini akan meneliti beberapa bentuk bangunan yang memiliki ketidakberaturan searah horizontal, seperti struktur gedung berbentuk L (ML) yang tergolong kedalam ketidakberaturan horizontal sudut dalam, sedangkan C (MC) tergolong kedalam ketidakberaturan horizontal diskontinuitas diafragma, dan O (MO) tergolong kedalam ketidakberaturan horizontal diskontinuitas diafragma, dan akan diberi beban, mutu beton, dimensi balok, dan dimensi kolom dengan ukuran yang sama dan nantinya akan dilakukan perbandingan perilaku dan kinerja dari setiap struktur gedung tersebut.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas terdapat beberapa rumusan masalah antara lain :

1. Bagaimana perilaku dari struktur bangunan yang beraturan dan yang tidak beraturan searah horizontal ?
2. Bagaimana kinerja dari struktur bangunan yang beraturan dan yang tidak beraturan searah horizontal ?

1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Agar mengetahui perilaku dari struktur bangunan yang beraturan dan yang tidak beraturan secara horizontal.
2. Agar mengetahui kinerja dari struktur bangunan yang beraturan dan yang tidak beraturan secara horizontal.

1.4. Manfaat

Manfaat dari penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut:

1. Untuk menambah wawasan tentang perbandingan perilaku pada struktur gedung beraturan dan tidak beraturan secara horizontal.
2. Untuk menambah wawasan tentang perbandingan kinerja pada struktur gedung beraturan dan tidak beraturan secara horizontal.

1.5. Batasan Masalah

Pada penelitian ini adapun batasan – batasan masalah adalah sebagai berikut :

1. Pemodelan struktur tidak termasuk dengan pemodelan struktur tangga karena memiliki perhitungan yang berbeda.
2. Pemodelan struktur tidak termasuk dengan pemodelan kekakuan dinding karena memiliki perhitungan yang berbeda.
3. Tidak memperhitungkan struktur pondasi dari setiap bangunan karena memiliki perhitungan yang berbeda.
4. Pemodelan struktur tidak termasuk pemodelan atap karena memiliki perhitungan yang berbeda.

1.6. Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelum saya melakukan penelitian ini. Penelitian terdahulu mengenai beton bertulang telah banyak dilakukan, dimana penelitian tersebut digunakan sebagai acuan bagi penelitian ini. Berikut adalah beberapa penelitian terdahulu yang dijadikan acuan yaitu:

1. “Perbandingan Struktur Gedung Tidak Beraturan Horizontal Berbentuk “L” Terhadap Kondisi Sistem Rigid Floor, Flexural Floor, Dan Sistem Dinding Geser”. Penelitian tersebut bertujuan untuk membandingkan nilai perioda getar, simpangan dan gaya geser struktur gedung tidak beraturan horizontal berbentuk L terhadap kondisi sistem rigid floor, flexural floor dan sistem dinding geser, (Dicky. P. P. M, 2018).
2. “Analisis Pengaruh Fleksibilitas Diafragma Terhadap Distribusi Horizontal Gaya Gempa”. Penelitian tersebut dilakukan untuk mengetahui fleksibilitas yang terjadi pada diafragma semi kaku yaitu perbedaan hasil distribusi horizontal gaya gempa, dan metode koreksi torsi yang terjadi pada gedung tersebut, (Alexander, 2018).

Program yang digunakan pada penelitian ini yaitu ETAB. Hasil yang didapatkan pada penelitian Alexander ini yaitu : Untuk diafragma semi-kaku, pengaruhnya terhadap distribusi horizontal gaya gempa adalah jika modifier kekakuan diafragma semakin besar, maka gaya gempa akan cenderung terdistribusi pada elemen vertikal yang lebih kaku, jika modifier

kekakuan diafragma semakin kecil, maka gaya 35 gempa akan cenderung terdistribusi pada elemen vertikal yang lebih fleksibel.

3. “Analisis Kinerja Struktur Pada Bangunan Bertingkat Beraturan Dan Ketidak Beraturan Horizontal Sesuai SNI 03-1726-2012”. Tujuan dari penelitian ini adalah Menganalisis dan membandingkan struktur gedung beraturan dan struktur gedung tidak beraturan yang ditinjau berdasarkan *displacement*, *drift*, dan *base shear*, Membandingkan kinerja struktur gedung bertingkat beraturan dan gedung bertingkat tidak beraturan berdasarkan *Performance Based Design*, dan Membandingkan berat tulangan dan berat beton yang diperlukan untuk masing-masing model gedung, (Purba, 2014).
4. “Perbandingan Struktur Gedung Tidak Beraturan Horizontal Berbentuk “L” Terhadap Kondisi Sistem Rigid Floor, Flexural Floor, Dan Sistem Dinding Geser”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan nilai perioda getar pada masing-masing model, Untuk mengetahui perbandingan nilai simpangan pada masing-masing model, dan Untuk mengetahui perbandingan nilai gaya geser pada masing-masing model.(Putra, 2018)
5. “Pengaruh Struktur Bangunan Gedung Bertingkat Ketidakberaturan Horizontal Terhadap Beban Gempa”. Tujuan dari penelitian ini adalah Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur gedung ketidakberaturan yang ditinjau berdasarkan displacement, drift ratio , dan base shear (Ramadhan, 2019)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Bangunan Tahan Gempa

Menurut (Bayong, 2006), yang dimaksud dengan pengertian gempa bumi yaitu suatu gerakan atau getarahn yang terjadi pada kulit bumi yang dihasilkan dari tenaga endogen. Dalam perencanaan struktur bangunan gedung tahan gempa, diperlukan standar dan peraturan untuk menjamin keselamatan penghuni terhadap gempa besar yang mungkin terjadi serta meminimalkan kerusakan struktur bangunan (Budiono, B., & Supriatna, L., 2011). Oleh karena itu, struktur bangunan tahan gempa harus memiliki kekuatan, kekakuan, dan stabilitas yang cukup untuk mencegah terjadinya keruntuhan bangunan dan korban jiwa.

Dalam penelitian ini akan menggunakan beberapa contoh bangunan yang dimana bangunan tersebut tidak beraturan secara horizontal dan melakukan beberapa variasi dimensi pada kolom dan balok gedung, dengan output kurva kapasitas gedung yang menunjukkan kinerja dari struktur tersebut.

2.2. Struktur beton bertulang

Berdasarkan (BSN, 2019), beton bertulang yaitu beton struktural yang ditulangi dengan tidak kurang dari jumlah baja prategang atau tulangan nonprategang minimum yang ditetapkan dalam standar – termasuk elemen-elemen yang memenuhi persyaratan untuk beton prategang dan non prategang dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua bahan tersebut bekerja sama dalam memikul gaya yang bekerja. Beton yang memiliki sifat utama menahan beban gaya tekan sedangkan tulangan baja berfungsi menahan tarik sehingga menghasilkan

kombinasi satu-kesatuan yang komposit sehingga menghasilkan beton bertulang yang kuat terhadap tarik dan juga tekan.

2.3. Struktur Kolom

Menurut (BSN, 2019), Pasal. 18.7.2.1 gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada kolom harus melebihi $0.1 A_g f'_c$. untuk komponen ini harus memenuhi kondisi sebagai berikut :

- a. Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak kurang dari 300 mm.

$$b \geq 300 \text{ mm atau } h \geq 300 \text{ mm}$$

- b. Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurusnya tidak kurang dari 0,4.

$$\frac{b}{h} \geq 0,4 \text{ atau } \frac{h}{b} \geq 0,4$$

2.4. Struktur balok

Mengacu pada (BSN, 2019), pasal 9.3.1. Untuk balok nonprategang yang tidak bertumpu atau melekat pada partisi atau konstruksi lain yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar, mempunyai batas tinggi maksimum seperti pada table di bawah ini.

Tabel 2. 1. Tinggi minimum balok

Kondisi Perletakan	Tinggi Minimum
perletakan sederhana	1/16
menerus satu sisi	1/18,5
menerus dua sisi	1/21
kantilever	1/8

Sumber: (BSN, 2019)

Catatan:

Panjang bentang dalam mm dan nilai yang diberikan harus digunakan langsung oleh komponen struktur dengan beton normal dan tulangan mutu 420 MPa.

Untuk kondisi lain, nilai diatas harus dimodifikasikan sebagai berikut:

1. Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis, w_c , antara 1440-1840 kg/m³, nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09.
2. Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y / 700)$.

2.5. Struktur Pelat

Pelat merupakan komponen struktur yang menerima beban mati dan beban hidup. Pelat dibedakan menjadi dua yakni:

2.5.1. Pelat Satu Arah

Pelat dapat dinyatakan pelat satu arah apabila rasio perbandingan bentang panjang dan bentang pendek suatu pelat lebih dari dua. Berikut adalah tabel untuk tebal minimum pelat satu arah.

Tabel 2. 2. Tebal minimum pelat satu arah

Komponen struktur	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar.			
Pelat masif satuarah	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Balok atau plat rusuk satu arah	$l/16$	$l/18,5$	$l/21$	$l/8$

Sumber: (BSN, 2019)

2.5.2. Pelat Dua Arah

Pelat dua arah adalah pelat yang mempunyai rasio perbandingan bentang panjang terhadap bentang pendek yang tidak lebih dari dua. Berikut adalah tabel untuk tebal minimum pelat dua arah.

Tabel 2. 3. Tebal minimum pelat dua arah

Tegangan leleh, f_y Mpa	Tanpa penebalan			Dengan Penebalan		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
280	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/40$	$l_n/40$
420	$l_n/30$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$
520	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$	$l_n/34$

Untuk konstruksi dua arah, l_n adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur dari muka ke muka tumpuan. Untuk f_y antar nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier. Pelat dengan balok di antar kolom-kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai α_f Untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

Sumber: (BSN, 2019)

2.6. Struktur Gedung

Tata cara ketahanan gempa untuk bangunan gedung, struktur bangunan gedung dibedakan ke dalam 2 (dua) kategori, yaitu struktur bangunan gedung beraturan dan struktur bangunan gedung tidak beraturan.

Adapun yang dimaksud dengan struktur bangunan gedung beraturan adalah struktur bangunan gedung yang memenuhi kriteria antar lain :

1. Tinggi struktur bangunan gedung diukur dari tarahf penjepitan lateral tidak lebih dari sepuluh tingkat atau 40 m.
2. Denah struktur bangunan gedung adalah persegi panjang atau dengan tonjolan $\leq 25\%$ ukuran terbesar denah bangunan.
3. Sistem struktur bangunan gedung terbentuk oleh subsistem-subsistem pemikul beban lateral yang arahnya saling tegak lurus dan sejajar.
4. Sistem struktur bangunan gedung tidak menunjukkan loncatan bidang muka dan walaupun mempunyai loncatan bidang muka, ukuran dari denah struktur

bagian gedung yang menjulang dalam masing-masing arah $\geq 75\%$ dari ukuran terbesar denah struktur bagian gedung yang ada di bawahnya.

5. Sistem struktur bangunan gedung memiliki kekakuan lateral yang beraturan, tanpa adanya tingkat lunak.
6. Sistem struktur bangunan gedung memiliki berat lantai tingkat yang beraturan.
7. Sistem struktur bangunan gedung memiliki unsur-unsur vertikal dari sistem pemikul beban lateral yang menerus, tanpa perpindahan titik beratnya, kecuali bila perpindahan tersebut tidak lebih dari setengah ukuran unsur dalam arah perpindahan tersebut.
8. Sistem struktur bangunan gedung memiliki lantai tingkat yang menerus, tanpa lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50% luas seluruh tingkat.
9. Sedangkan struktur bangunan gedung yang tidak memenuhi kriteria-kriteria seperti diatas, dikategorikan sebagai struktur bangunan gedung tidak beraturan. Untuk struktur gedung tidak beraturan, pengaruh Gempa Rencana harus ditinjau sebagai pengaruh pembebanan gempa yang berperilaku dinamik, dan analisisnya dilakukan berdasarkan analisis respons dinamik, yaitu suatu analisis dinamik yang memperhatikan semua ragam getar yang mungkin terjadi pada struktur bangunan. Analisis respons dinamik dapat dilakukan dengan analisis ragam spektrum respons dan analisis respons dinamik riwayat waktu.

2.7. Struktur Gedung Tidak Beraturan

(Pawirodikromo, 2012), menjelaskan bahwa struktur gedung dapat diklasifikasikan sebagai bangunan beraturan dan tidak beraturan umumnya mempunyai lebih dari 1 massa/gatra/blok dengan denah tidak sederhana walaupun

masih simetri baik simetri 2 arah maupun 1 arah. Kriteria ini harus berdasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur bangunan gedung.

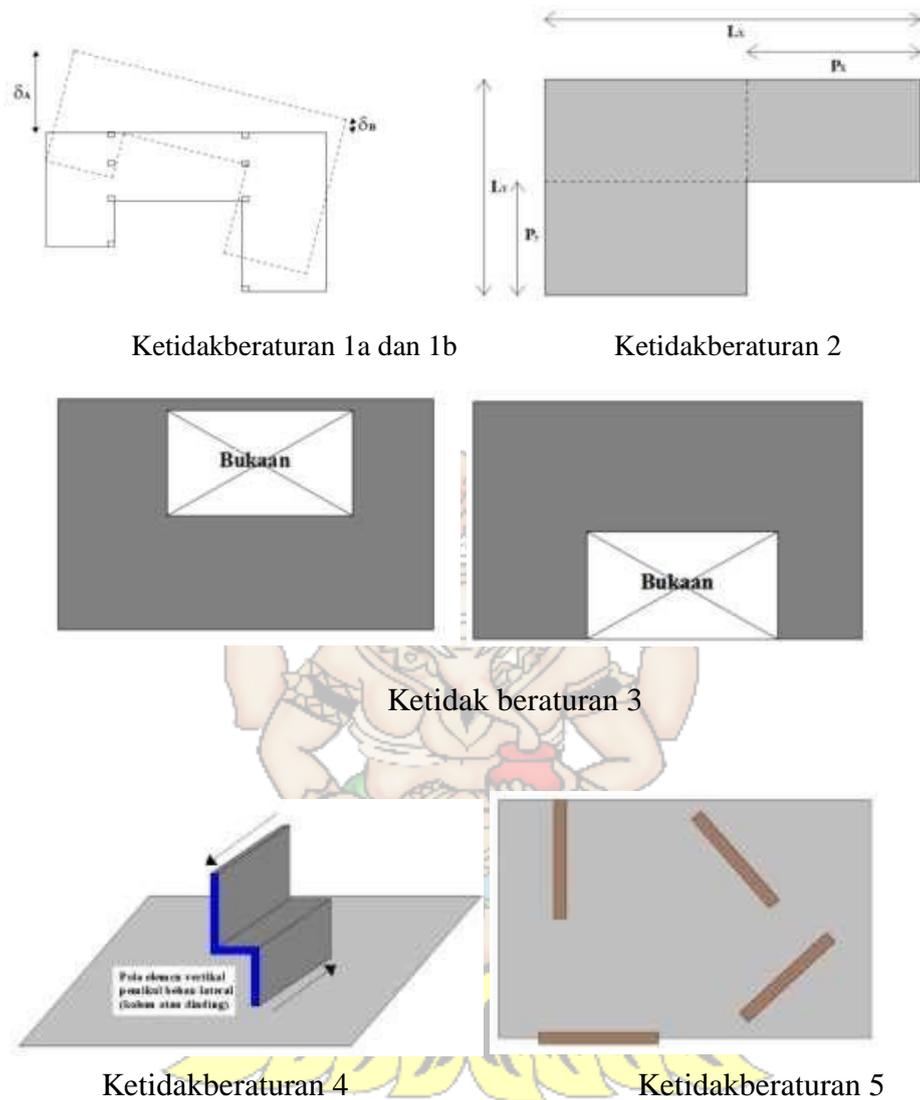
Berdasarkan (BSN, 2019), suatu struktur dikatakan memiliki ketidakberaturan horizontal apabila struktur tersebut mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan, yaitu :

Tabel 2. 4. Ketidakberaturan horizontal pada struktur

No	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Penerapan kategori desain seismik
1a	Ketidakberaturan torsi di definisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur, ketidakberaturan torsi dalam pasalpasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b	Ketidakberaturan torsi berlebihan di definesikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyarahtan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragma nya kaku dan setengah kaku.	E dan F D B, C, dan d C dan D C dan D D B, C, dan D

2	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah dari sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan	D, E, dan F D, E, dan F
3	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma di definisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50% daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ketinggian selanjutnya.	D, E, dan F, D, E, dan F
4	Ketidakberaturan gesekan melintang terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F, B, C, D, E, dan F
5	Ketidakberaturan sistem non paralel didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu orthogonal utama sistem penahan gaya gempa	C, D, E, dan F, B, C, D, E, dan F, D, E, dan F, B, C, D, E, dan F

Sumber : (BSN, 2019)



Gambar 2. 1. Ketidakeraturan Horizontal

Sumber: (BSN, 2019)

2.8. Sistem Struktur Bangunan Tinggi

Sistem struktur dibagi menjadi dua bagian yaitu sistem vertikal dan sistem horisontal. Sistem vertikal mencakup sistem struktur lateral yang dapat meningkatkan nilai kekakuan dan kekuatan komponen vertikal, Sedangkan sistem horisontal mencakup pengaku-pengaku horisontal atau horisontal bracing berupa lantai dan sistem deck framing yang biasa disebut dengan diafragma horisontal,

(Majore, 2015). Sistem struktur berdasarkan (BSN, 2019), dibagi menjadi 4 jenis yaitu:

1. Sistem dinding penumpu merupakan sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, yang sebagian besar atau seluruh beban gravitasinya dipikul oleh dinding-dinding penumpu. Tahanan terhadap gaya gempa disediakan oleh dinding-dinding geser atau rangka bresing.
2. Sistem rangka gedung yaitu sistem struktur dengan rangka ruang lengkap untuk memikul beban gravitasi, sedangkan tahanan terhadap gempa disediakan oleh dinding geser ataupun oleh rangka bresing
3. Sistem ganda yaitu sistem struktur dengan rangka ruang lengkap untuk memikul beban gravitasi, sedangkan tahanan terhadap gempa disediakan oleh kombinasi sistem rangka pemikul momen dan dinding geser atau oleh kombinasi sistem rangka pemikul momen dan rangka bresing
4. Sistem interaksi dinding geser dan rangka sistem yaitu struktur yang menggunakan kombinasi dinding geser beton biasa dan sistem rangka beton pemikul momen biasa untuk menahan beban-beban lateral sesuai perbandingan kekakuan yang dimilikinya, dengan memperhatikan interaksi antar dinding geser dan rangka di semua tingkat atau lantai bangunan

2.9. Pembebanan Struktur

Beban yang diterima struktur gedung adalah faktor yang menimbulkan tegangan dan regangan pada struktur. Akibat pembebanan pada struktur akan menimbulkan gaya - gaya yang bekerja pada struktur itu sendiri diantaranya

: gaya tarik, tekan, lentur geser dan lain-lain. Secarah umum beban dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu:

2.9.1. Beban hidup

Beban hidup adalah beban dari akibat penggunaan sebuah Gedung yang dihuni, termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barahng-barahng yang dapat berpindah serta peralatan yang bukan bagian yang tak terpisahkan dari gedung tersebut. Nilai beban hidup mengacu pada (BSN, 2020).

Menurut (BSN, 2020), untuk ruang publik nilai beban yang diperbolehkan adalah $4,79 \text{ kN/m}^2$ sedangkan untuk semua ruangan kecuali tangga beban yang diperbolehkan adalah $1,92 \text{ kN/m}^2$

2.9.2. Beban mati

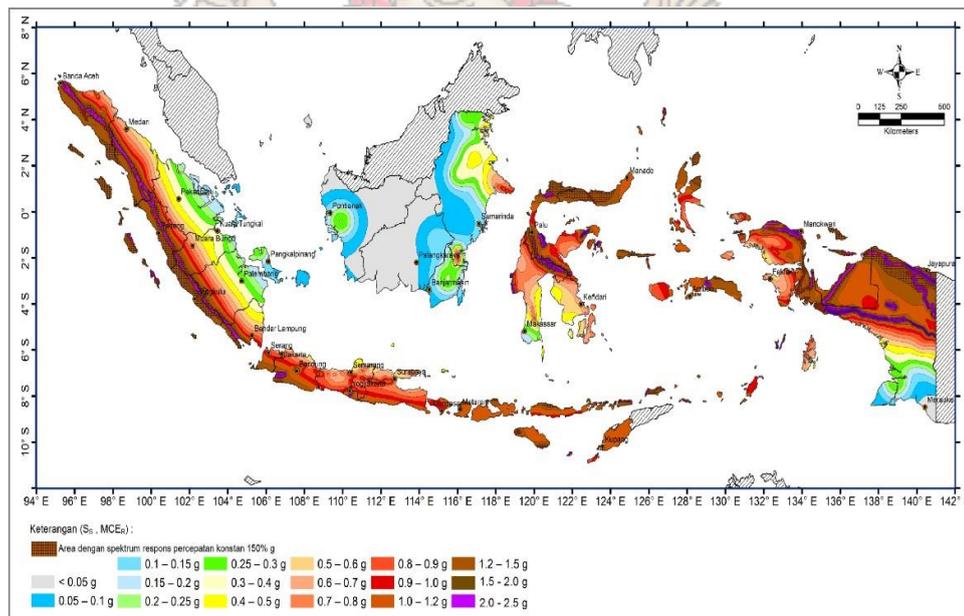
Beban mati adalah beban dari bangunan atau gedung yang terpasang dan tidak dapat dipindahkan atau bersifat tetap selama masa layan struktur, termasuk bagian dari beban mati tambahan seperti dinding, lantai, atap, plafon, tangga, finishing, dan komponen arsitektural yang tidak bisa dipisahkan dari sebuah bangunan. Nilai beban mati mengacu pada (BSN, 2020).

2.9.3. Beban gempa

Beban gempa adalah beban yang bekerja pada struktur gedung yang merupakan akibat dari pergerakan tanah saat terjadinya gempa. Tahap perencanaan bangunan tahan gempa di indonesia diatur dalam (BSN, 2019), dan dikategorikan menjadi dua, yakni gaya lateral ekuivalen (analisis statik) dan respons seismik (analisis dinamik). Sedangkan faktor-faktor yang memepengaruhi analisis beban gempa, adalah sebagai berikut:

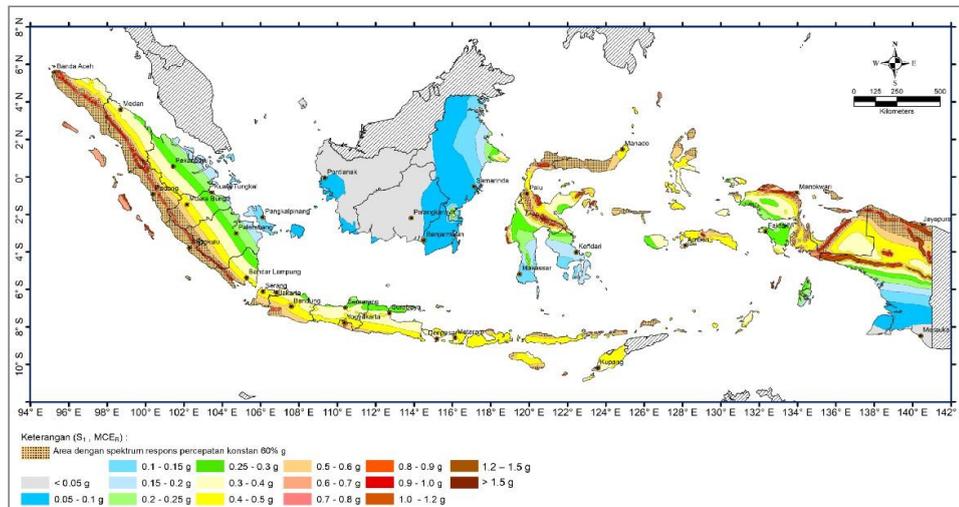
1. Wilayah gempa

Parameter S_s (pergerakan tanah dasar pada periode pendek) dan S_1 (pergerakan tanah dasar pada periode 1 detik) setiap wilayah gempa mempunyai nilai berbeda-beda dan ditetapkan masing-masing berdasarkan respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik. Pada , zonasi peta gempa menggunakan peta gempa untuk probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun atau memiliki periode ulang 2500 tahun. Untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan pada gambar dibawah ini



Gambar 2. 2. Parahmeter S_s (percepatan tanah dasar pada periode pendek).

Sumber :(BSN, 2019)



Gambar 2. 3. Parahmeter S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik)

Sumber : (BSN, 2019)

Berdasarkan dari gambar diatas maka dapat diketahui bahwa untuk daerah Ruteng Flores NTT mempunyai nilai parahmeter S_s berkisar antarah 1,0-1,2 g, sedangkan untuk parahmeter S_1 , Ruteng Flores NTT mempunyai nilai S_1 berkisar antarah 0,4 - 0,5 g.

2. Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko bangunan merupakan kategori yang membedakan setiap bangunan berdasarkan fungsinya dengan risiko yang diterima akibat kegagalan struktur, baik kerugian material maupun kerugian jiwa dan dampaknya. Kategori risiko ini juga menjadi pertimbangan dalam menentukan kategori desain seismik.

Tabel 2. 5. Kategori resiko gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I,II,III,dan IV termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: a) Perumahan b) Rumah toko dan rumah kantor c) Pasar d) Gedung perkantoran e) Gedung apartemen/ rumah susun f) Pusat perbelanjaan mall g) Bangunan industri h) Fasilitas manufaktur i) Pabrik	II

Sumber: (BSN, 2019)

Dari hasil Tabel 2.5. didapatkan kategori resiko gedung yang akan direncanakan dan faktor keutamaan gempanya dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 6. Faktor keutamaan gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber: (BSN, 2019)

Nilai I_e pada tabel diatas akan dipergunakan dalam rumus untuk menentukan koefisien respon seismik yang akan dibahas pada subbab selanjutnya.

3. Parahmeter Kelas Situs

Kelas situs pada tanah diklasifikasikan pada beberapa kelas berdasarkan sifat tanah diantaranya situs SA (batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak), SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik). Bila sifat tanah tidak

teridentifikasi jelas dan tidak dapat ditentukan kelas situsnya, maka digunakan kelas situs SE. Namun apabila pemerintah atau dinas yang bersangkutan memiliki data geoteknik yang lengkap, maka dapat ditentukan kelas situs yang akan digunakan. Klasifikasi kelas situs dipaparkan dalam tabel 2.7. berikut.

Tabel 2. 7. Definisi kelas situs

Kelas Situs	$\overline{V_s}$ (m/detik)	\overline{N} atau \overline{Nch}	$\overline{S_u}$ (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	> 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

Sumber: (BSN, 2019)

4. Koefisien Situs dan Parahmeter Respons Spektra

Untuk mengetahui respon spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah diperlukan faktor amplifikasi seismik dalam periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getarahn terkait percepatan dalam getarahn periode pendek (F_a) dan faktor penguatan terkait percepatan yang mewakili getarahn periode 1 detik (F_v). Parahmeter respons spektral percepatan dalam periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi lokasi, harus ditentukan dengan rumus berikut:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2.1)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (2.2)$$

Keterangan:

S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa MCER yang dipetakan untuk periode singkat;

S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa MCER yang dipetakan untuk periode 1,0 detik

Dengan koefisien tapak F_a dan F_v berikut jika kelas situs SE digunakan sebagai kelas situs, maka nilai F_a tidak boleh kurang dari 1,2. Jika prosedur desain sesuai, maka nilai F_a harus ditentukan sesuai dengan nilai F_v , SMS, dan SM1 tidak perlu ditentukan.

Tabel 2. 8. Koefisien situs F_a

Kelas	Parameter respons spektral percepatan gempa MCER				
	Terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
Situs	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1	1	1	1	1
SC	1,2	1,2	1,1	1	1
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

Sumber: (BSN, 2019)

Tabel 2. 9. Koefisien situs F_v

Kelas	Parameter respons spektral percepatan gempa MCER				
	Terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
Situs	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \leq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1	1	1	1	1
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

Sumber: (BSN, 2019)

Keterangan:

- a. Nilai F_a dan F_v yang tidak terdapat pada tabel dapat dilakukan proses interpolasi linier.
- b. SS^b merupakan yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs spesifik.

5. Parahmeter Percepatan Spektral Desain

Parahmeter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.4)$$

Keterangan:

S_{DS} = Parahmeter respons spektral percepatan desain selama periode singkat.

S_{D1} = Parahmeter respons spektral percepatan desain selama periode 1 detik.

S_{MS} = Parahmeter respons spektral percepatan pada periode pendek

S_{M1} = Parahmeter respons spektral percepatan pada periode 1 detik

6. Spektrum Respons Desain

Spektrum respon desain adalah skenario percepatan puncak di permukaan tanah untuk berbagai periode alami yang disebabkan oleh guncangan. Spektrum respon desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) masing-masing diperoleh dengan mengalikan S_{MS} dan S_{M1} dengan konstanta redaman, Indonesia menggunakan nilai = $2/3$ tahun.

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan;

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.5)$$

2. Untuk periode yang lebih besar atau sama dengan T_0 dan kurang dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a sama dengan S_{DS} ;
3. Untuk periode yang lebih besar dari T_s tetapi kurang dari atau sama dengan T_L , respon spektral percepatan desain, S_a , diambil menurut persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.6)$$

4. Untuk periode yang lebih besar dari T_L , respon spektral percepatan desain, S_a , diambil menurut persamaan:

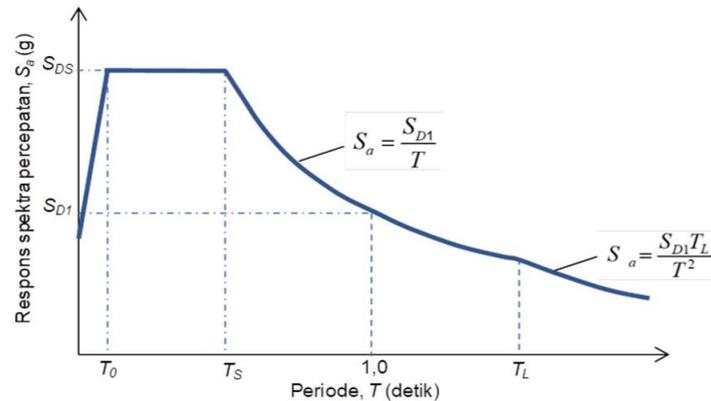
$$S_a = \frac{S_{D1} \times T_L}{T^2} = \quad (2.7)$$

Keterangan:

S_{DS} = Parameter respons spektral percepatan desain selama periode singkat

S_{D1} = Parameter respons spektral percepatan desain selama periode 1 detik

T = Periode getarahn fundamental struktur



Gambar 2. 4. Respons spektra

Sumber: (BSN, 2019)

7. Kategori Desain Seismik

Suatu struktur harus ditetapkan memiliki kategori desain seismik yang diatur dalam (BSN, 2019). Kategori desain seismik suatu lokasi struktur tergantung kepada kategori resiko dan nilai parameter repons percepatan periode pendek (S_{DS}), ditentukan dalam tabel dibawah ini:

Tabel 2. 10. Kategori resiko SDS

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

Sumber: (BSN, 2019)

Tabel 2. 11. Kategori resiko SD1

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: (BSN, 2019)

8. Parahmeter Sistem Struktur Penahan Gaya Seismik

Sistem penahan gaya gempa yang berbeda diizinkan untuk digunakan untuk menahan gaya gempa di setiap arah dari dua sumbu ortogonal struktur. Bila digunakan sistem yang berbeda, maka nilai R^a , Ω^{b_0} , C_d^c , dan masing-masing harus diterapkan pada masing-masing sistem, termasuk batasan sistem struktur yang tercantum pada Tabel

Tabel 2. 12. Faktor R, Cd, dan Ω^{b_0} untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih system Ω^{b_0}	Faktor pembesarahn defleksi C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan				
				Katgori desain seismik				
				B	C	D^e	E^e	F^f
SRPMK	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
SRPMM	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
SRPMB	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI

Sumber: (BSN, 2019)

Keterangan :

TB = Tidak dibatasi

TI = Tidak diijinkan

9. Periode Fundamental Struktur

Berdasarkan (Madra, 2003), periode fundamental pendekatan (T_a), harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t H_n^x \quad (2.8)$$

Keterangan:

T = Periode fundamental pendekatan

H_n = Adalah ketinggian struktur (m)

C_t & x = koefisien dari nilai parahmeter periode pendekatan

Tabel 2. 13. Nilai Parahmeter periode pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyarahatkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik :		
a. Rangka baja pemikul momen	0,072	0,8
b. Rangka beton pemikul momen	0,047	0,9
c. Rangka baja dengan bresing eksentris	0,073	0,75
d. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,073	0,75
e. Semua sistem struktur lainnya	0,049	0,75

Sumber : (BSN, 2019)

10. Perhitungan Koefisien Respon Seismik

Berdasarkan (BSN, 2019), Koefisien respons seismik C_s harus ditentukan sesuai dengan mengikuti persamaan:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} \quad (2.9)$$

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan BSN, (2019), tidak perlu

melebihi berikut ini : Untuk $T \leq L$

$$C_{smax} = \frac{S_{DS}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2.10)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_{smin} = \frac{S_{DS}}{T^2 \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2.11)$$

C_s harus tidak kurang dari $C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = \frac{0,5S_1}{I_e} \quad (2.12)$$

Keterangan:

I = Faktor keutamaan gempa (SNI 1726:2019 Tabel 4)

C_s = Koefisien respons seismik (SNI 1726:2019 Tabel 12)

C_{smax} = Koefisien respons seismik maksimum (detik)

C_{smin} = Koefisien respons seismik minimum

T = Periode getar fundamental struktur

R = Koefisien modifikasi

11. Pengaruh arah pembebanan gempa

Dalam menentukan arah pembebanan gempa, digunakan arah utama pembebanan yang paling kritis sehingga memberikan pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur subsistem dan sistem struktur gedung secara keseluruhan. (PPIUG, 1983), Pengaruh beban paling kritis akibat arah penerapan gaya seismik pada struktur dianggap terpenuhi jika elemen struktur dan fondasinya didesain untuk memikul kombinasi beban-beban yang ditetapkan berikut : 100 % gaya untuk satu arah ditambah 30 % Gaya untuk arah tegak lurus.

12. Gaya dasar Seismik

Berdasarkan (BSN, 2019), Gaya geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditentukan diperoleh dengan persamaan berikut ini:

$$V = C_s \times W \quad (2.13)$$

Keterangan:

W = Berat seismik efektif

Cs = Koefisien respons seismik

2.10. Simpangan antar lantai

Simpangan antar lantai adalah pergeseran posisi (defleksi) antarah pusat massa sebuah lantai dengan lantai yang berada di atas atau di bawahnya akibat dari penyerapan beban yang dialami oleh struktur. Berdasarkan c simpangan antar lantai hanya ada kinerja batas ultimate saja tanpa mempertimbangkan kinerja batas layannya. Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.14)$$

Berdasarkan (BSN, 2019), Simpangan antar lantai ini tidak boleh melebihi dari batas-batas yang ditentukan. Untuk semua struktur lainnya yang termasuk dalam kategori resiko gedung I dan II, batas simpangan antar lantai ultimitnya (Δ_a) tidak boleh melebihi dari:

$$\Delta_a = 0,020 h_{sx} \quad (2.15)$$

$$\Delta \leq \Delta_a$$

Tujuan dari pemberian batasan ini adalah agar struktur tidak terlalu kaku (Rigid) dan tidak terlalu melentur. Struktur yang terlalu kaku tidak memberikan adanya tanda tanda kerusakan struktur dan struktur yang terlalu melentur memberikan efek yang tidak nyaman pada penghuni.

Keterangan:

δ_x = Simpangan pusat massa di tingkat-x (mm)

C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral dalam Tabel 13

δ_{xe} = Simpangan ditingkat-x yang disyaratkan pada pasal ini, yang ditentukan dengan analisis elastik

I_e = Faktor keutamaan gempa

h = tinggi tingkat di bawah tingkat, (mm)

Δ = simpangan antar tingkat desain

2.11. Beban Kombinasi Metode Ultimit

1. Kombinasi Pembebanan Dasar

Struktur serta komponen elemen struktur harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban terfaktor dengan kombinasi pembebanan sesuai BSN, (2019), sebagai berikut:

$$1. \quad 1,4D \quad (2.16)$$

$$2. \quad 1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } R) \quad (2.17)$$

$$3. \quad 1,2D + 1,6L (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W) \quad (2.18)$$

$$4. \quad 1,2D + 1,0W + L + 0,5(Lr \text{ atau } R) \quad (2.19)$$

$$5. \quad 0,9D + 1,0W \quad (2.20)$$

2. Kombinasi Pembebanan dengan Pengaruh Beban Gempa

Jika suatu struktur menerima pengaruh beban gempa, maka kombinasi beban berikut ini harus diperhitungkan bersama-sama dengan kombinasi beban dasar di atas. Pengaruh beban seismik yang paling menentukan harus dipertimbangkan, tetapi tidak perlu dihitung dengan beban angin. Jika efek beban gempa dirujuk, E

= f (E_v, E_h) digabungkan dengan pengaruh beban lain, kombinasi beban gempa yang harus digunakan adalah:

$$1. \quad 1,2 D + E_v + E_h + L \quad (2.21)$$

$$2. \quad 0,9 D - E_v + E_h \quad (2.22)$$

3. Pengaruh beban seismik horizontal

Pengaruh beban gempa horizontal, E_h, harus ditentukan menurut persamaan sebagai berikut:

$$E_h = \gamma \cdot Q_E \quad (2.23)$$

Keterangan:

Q_E = pengaruh gaya gempa horizontal V atau F_p, Jika diperlukan dalam efeknya harus dihasilkan dari penerapan gaya horizontal secara simultan dalam dua arah saling tegak lurus; γ = adalah faktor redundansi

4. Pengaruh beban seismik vertikal

Pengaruh beban gempa vertikal, E_v, harus ditentukan menurut persamaan berikut:

$$E_v = 0,2 \times S_{DS} \times D \quad (2.24)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan respon spektral desain dalam waktu singkat

D = efek beban mati.

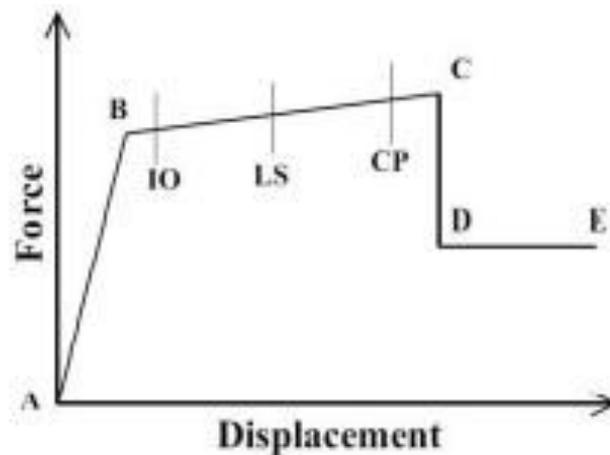
2.12. Analisa Pushover

Pushover analysis atau sering disebut analisis beban statik dorong merupakan suatu analisis statik non-linier dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkup pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelepasan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca – elastis yang besar sampai mencapai kondisi plastis. Didalam menganalisis pushover hal yang penting dilakukan juga adalah mendefinisikan Mass Source seperti yang telah ditetapkan pada (PPIUG, 1983) dimana kombinasi pembebanan yang digunakan yaitu 100% beban mati dan 30% beban hidup. Sedangkan untuk presentasi beban yang digunakan dalam analisis pushover yaitu 100% beban mati (termasuk beban mati tambahan) dan beban hidup tidak diperhitungkan karena tidak terdapat lantai yang digunakan untuk penyimpanan dan beban hidup tidak melebihi 5 KN/m² (BSN, 2019). Hasil yang didapat dari analisis pushover ini adalah kurva kapasitas dari nilai-nilai gaya geser dasar untuk menghasilkan perpindahan lantai atap dengan pendekatan non linier statik. Bentuk kurva kapasitas ini merupakan gambaran perilaku struktur dalam bentuk perpindahan lateral terhadap beban (demand) yang diberikan. Analisis ini dilakukan dengan memberikan beban dorong arah lateral pada struktur tiap lantai secara bertahap (incremental) hingga mendapatkan nilai gaya lateral maksimum terbesar atau pola keruntuhan tertentu.

Dalam menganalisa pushover ini digunakan program SAP 200 dengan metode spektrum kapasitas.

2.13. Sendi Plastis

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan target perpindahan adalah menggunakan metode koefisien perpindahan dari ASCE 41-13 untuk prosedur statik non-linear. Penyelesaian dilakukan dengan memodifikasi respons elastis linier dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien C_1 , C_2 , dan C_3 sehingga diperoleh perpindahan global maksimum elastis dan inelastis yang disebut target perpindahan. Mekanisme tahapan perubahan sendi plastis dimulai pada ujung balok kemudian setelah sebagian besar/semua balok berada pada fase pasca-elastis, selanjutnya akan terjadi pada kolom yang dimulai dari kaki kolom lantai dasar. Sendi plastis terjadi apabila kuat-leleh pada suatu titik dalam suatu elemen dicapai/dilampaui sehingga kekuatannya sudah tidak bertambah tetapi regangan dapat bertambah. Pada struktur gedung beton bertulang sendi plastis ini terjadi jika respon struktur berada pada fase inelastis, hal ini dimulai dengan lelehnya tulangan tarik (Hajati, N.L., 2013).



Gambar 2. 5. Kurva deformasi plastis untuk gaya perpindahan

Sumber : (CSI, 2016)

2.14. Daktilitas

Berdasarkan (BSN, 2019), bahwa suatu diafragma horizontal atau elemen-elemen struktural lainnya harus memberikan kontinuitas di atas pemisahan isolasi dan harus mempunyai kekuatan dan daktilitas yang cukup untuk meneruskan gaya-gaya dari satu bagian struktur ke bagian lainnya.

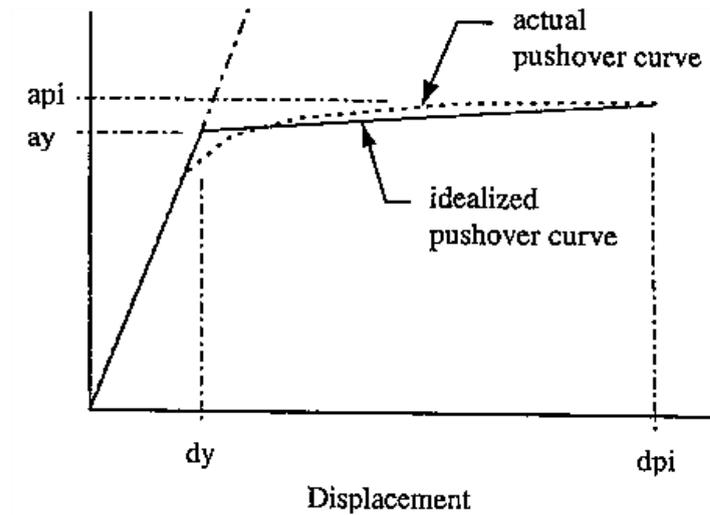
Daktilitas merupakan kemampuan struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang kali dan bolak balik akibat beban gempa di atas beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan. Suatu struktur yang baik harus merencanakan desain struktur dengan konsep strong column weak beam yaitu kapasitas kolom yang melebihi kapasitas balok dengan merencanakan sendi plastis yang terjadi pada balok struktur sehingga struktur gedung dapat memiliki daktilitas yang tinggi.

Dengan terbentuknya sendi plastis pada struktur, maka struktur akan mampu menahan beban gempa yang besar tanpa memberikan kekuatan berlebihan pada elemen struktur karena energi kinetik akibat gerakan tanah yang diterima akan diserap oleh sendi plastis tersebut, terdapat 2 jenis daktilitas yaitu:

1. Daktil penuh yaitu suatu tingkat daktilitas struktur gedung, di mana strukturnya mampu mengalami simpangan pasca-elastik pada saat mencapai 34 kondisi di ambang keruntuhan yang paling besar, yaitu dengan mencapai nilai faktor daktilitas sebesar 5,3.
2. Daktil parsial yaitu seluruh tingkat daktilitas struktur gedung dengan nilai faktor daktilitas di antarah untuk struktur gedung yang elastik penuh sebesar 1,0 dan untuk struktur gedung yang daktil penuh sebesar 5,3.

2.15. Metode Analisis ATC 40

Metode analisis Applied Technology Council (ATC 40) adalah desain kinerja struktur bangunan dengan capacity spektrum untuk mengetahui peralihan aktual dari struktur gedung. Peralihan aktual yang dimaksud adalah besarnya simpangan pada struktur. Prosedur metode ATC 40 dilakukan dengan menentukan kordinat titik $a_y - d_y$ dan $a_p - d_p$ yang digunakan sebagai performa.



Gambar 2. 6. Kurva ideal pushover

Sumber : (ATC 40,1996)

Analisis *capacity spektrum* sesuai aturan ATC 40 adalah sebagai berikut :

1. Konversi kurva kapasitas hasil analisis beban dorong atau *pushover* menjadi *capacity spektrum*.

- a. Modal Participation Faktor.

$$PF_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \frac{W_i \cdot \phi_{i1}}{g}}{\sum_{i=1}^n \frac{(W_i \cdot \phi_{i1})^2}{g}} \right] \quad (2.25)$$

- b. Modal Mass Coefficient

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \frac{W_i \cdot \phi_{i1}}{g} \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n \frac{W_i}{g} \right] \left[\sum_{i=1}^n \frac{(W_i \cdot \phi_{i1})^2}{g} \right]} \quad (2.26)$$

- c. Spektrum Acceleration

$$S_a = \frac{v}{\alpha_1} \quad (2.27)$$

- d. Spektrum Displacement

$$S_d = \frac{\Delta_{\text{roof}}}{Pf_1 \cdot \phi_{\text{roof}1}} \quad (2.28)$$

e. *Drift*

$$MID = \frac{Dt-D1}{H} \quad (2.29)$$

Keterangan :

D : Simpangan / Perpindahan (*Drift*)

H : Tinggi bangunan (m)

MID : Simpangan / Perpindahan maksimum (*Maximum Inelastic Drift*)

PF1 : Faktor partisipasi (*Modal Participation Faktor*) untuk periode 1

α_1 : Koefisien massa modal (*Modal Mass Coefficient*) untuk periode 1

Sa : Percepatan spektral (*Spektrum Acceleration*)

Sd : Percepatan spektral (*Spektrum Displacement*)

Φ_{i1} : Amplitudo modal (*Amplitude of Mode*) periode 1 pada level i

V : Geser dasar (*Base Shear*)

W : Beban gravitasi

Δ_{roof} : Perpindahan pada atap (*Roof Displacement*)

$\frac{W_i}{g}$: Massa pada level i

2. Menentukan *performance point*, pada tahap ini dilakukan iterasi sesuai prosedur B ATC 40 ; Plot *demand spectrum* dengan nilai damping 5% sesuai kondisi tanah dan wilayah gempa, lalu menggabungkan *demand spectrum* dengan *capacity spectrum* untuk menentukan *performance point*.

3. Ubah *performance point* menjadi simpangan.

Berikut ini adalah batasan rasio *drift* berdasarkan ATC 40 yaitu :

Tabel 2. 14. performance point

<i>Performance Level</i>				
<i>Parahmeter</i>	IO	DC	LS	SB
Maksimum Total <i>Drift</i>	0,01	0,01 s.d 0,002	0,02	0,33 Vi/Pi
Maksimum Total Inelastik <i>Drift</i>	0,005	0,005 s.d 0,015	<i>No Limit</i>	<i>No Limit</i>

Sumber : (ATC 40, 1996)

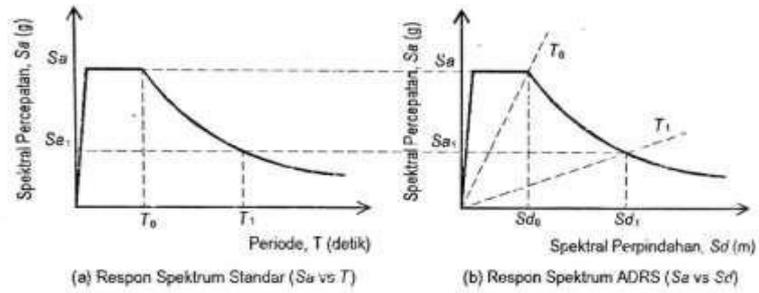
Keterangan :

IO : Immediate Occupancy LS : Life Safety

DC : Damage Control SB : Structural Stability

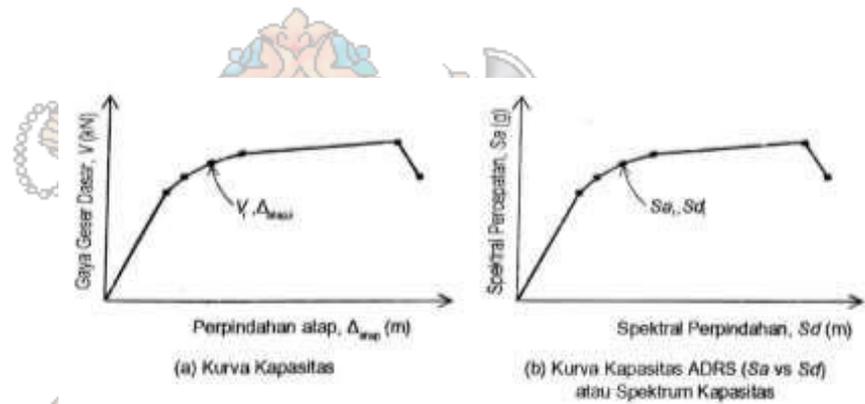
2.16. Performance Point

Performance point adalah titik potong antarah kurva kapasitas dengan kurva respon spektrum gempa yang didapat setelah melakukan analisis pushover. Kurva kapasitas menunjukkan hubungan antarah gaya geser dasar (Base Shear) terhadap perpindahan lantai atap (Roof Displacement). Sedangkan kurva respon spektrum adalah kurva yang menunjukkan hubungan antarah percepatan respon spektra (S_a) dengan waktu getar struktur (T). Agar dapat dibandingkan dengan kurva kapasitas, maka response spectrum perlu dirubah formatnya menjadi Acceleration-Displacement Response Spectrum (*ADRS*). Dari performance point di dapat informasi mengenai periode getar bangunan dan redaman efektif akibat perubahan kekakuan struktur setelah terjadi sendi plastis.



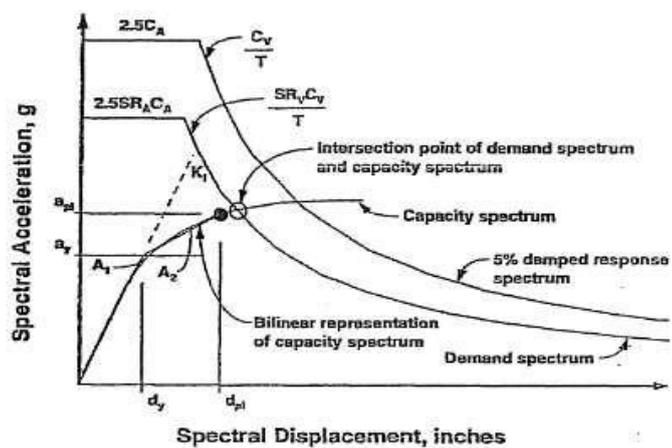
Gambar 2. 7. Respon Spektrum Standar dan Respon

Sumber : (ATC-40, 1996)



Gambar 2. 8. Kurva Kapasitas dan Spektrum Kapasitas

Sumber : (ATC-40, 1996)



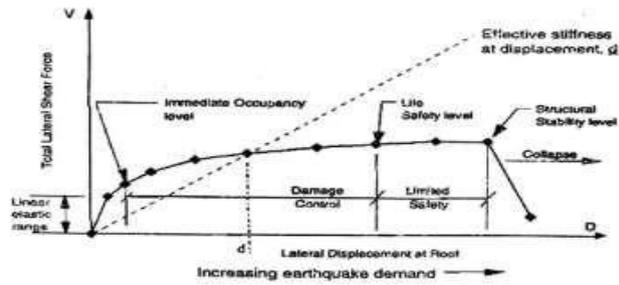
Gambar 2. 9. Performance Point

Sumber : (ATC-40, 1996)

2.17. Kinerja Struktur Akibat Gempa

Dalam desain struktur berbasis kinerja, kinerja struktur didesain sesuai dengan tujuan dan kegunaan suatu bangunan dengan pertimbangan faktor ekonomis terhadap perbaikan bangunan saat terjadi gempa tanpa mengesampingkan keselamatan terhadap pengguna bangunan (Pangestu & Pratama, 2021). Setelah dilakukannya analisis pushover dapat diketahui level kinerja dari suatu struktur. Secarah umum level kinerja struktur tersebut dibagi menjadi 4 bagian berdasarkan sebagai berikut:

1. Fully Operational (FO) yaitu kondisi dimana ketika terjadi gempa, struktur bangunan tetap beroperasi/tetap berfungsi dengan baik tanpa ada kerusakan pada elemen struktural dan non-struktural bangunan.
2. Immediate Occupancy (IO) yaitu bila terjadi gempa, struktur mampu menahan gempa tersebut, struktur tidak mengalami kerusakan astruktural dan tidak mengalami kerusakan non struktural. Sehingga bisa langsung digunakan.
3. Life Safety (LS) yaitu sruktur gedung harus mempu menahan gempa sedang tanpa kerusakan struktur, walaupun ada kerusakan pada elemen non sruktural.
4. Collapse Prevention (CP) yaitu struktur harus mampu menahan gempa besar tanpa terjadi keruntuhan struktural walaupun telah mengalami rusak berat, atrinya kerusakan struktur boleh terjadi tetapi harus dihindari adanya korban jiwa manusia.



Gambar 2. 10. Tipikal Kurva Kapasitas Pada

Berbagai Tingkat Kinerja Struktur

Sumber : (ATC-40, 1996)

Metodologi yang didasarkan pada performance based seismik design ini merupakan kriteria desain dan evaluasi yang diekspresikan sebagai obyektivitas dari daya guna struktur. Hal tersebut dapat menetapkan berbagai tingkatan kinerja struktur (multiple performance objective level), dimana tingkatan kinerja (performance) dari struktur bangunan merupakan pilihan yang dapat direncanakan pada tahap awal dengan berbagai kondisi batas. Tujuan utama dari performance based seismik design ialah menciptakan bangunan tahan gempa yang daya gunanya dapat diperkirakan Performance based seismik design mempunyai dua elemen utama dalam perencanaannya yaitu kapasitas struktur (capacity) dan beban (demand). Beban (demand) merupakan representasi dari gerakan tanah akibat gempa bumi, dimana yang akan digambarkan sebagai kurva respon spektrum. Kapasitas struktur adalah kemampuan dari struktur untuk menanggulangi gaya gempa tanpa mengalami kerusakan.