

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia terletak diantara 3 lempeng bumi, diantaranya lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Indo-Australia (BMKG Wilayah III, 2017). Hal ini menyebabkan Indonesia rawan terdampak bencana alam gempa. Indonesia merupakan daerah rawan gempa bumi karena dilalui oleh jalur pertemuan tiga lempeng tektonik. Lempeng Indo-Australia bergerak relatif ke arah utara dan menyusup ke dalam lempeng Eurasia, sementara lempeng Pasifik bergerak ke barat. Jalur pertemuan lempeng berada di laut sehingga apabila terjadi gempa bumi akan menimbulkan gempa besar dengan kedalaman yang dangkal. Akibat dari aktifitas lempeng yang berada di Indonesia tersebut Indonesia memiliki banyak daerah yang menjadi tempat pertemuan antar lempeng yang sewaktu-waktu bisa menimbulkan bencana gempa bumi.

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa bumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Energi yang dihasilkan dipancarkan kesegala arah berupa gelombang gempa bumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi (BMKG Wilayah III, 2017). Salah satu obyek yang paling berpengaruh terhadap dampak terjadinya gempa adalah bangunan. Pada saat gempa berlangsung, struktur bangunan akan mengalami getaran atau berdeformasi. Bila getaran yang di akibatkan oleh gempa terhadap struktur bangunan melewati batas dari kemampuan struktur, hal ini mengakibatkan terjadinya keruntuhan

struktur. Selain masalah gempa bumi hal lain yang perlu diperhatikan dalam struktur bangunan bertingkat yaitu mengenai bentuk bangunan itu sendiri.

Dari waktu ke waktu desain arsitektur telah berkembang pesat, yang semula hanya berbentuk sederhana hingga sampai sekarang perkembangan arsitektur yang menonjolkan bentuk yang unik dan beragam yang lebih menonjolkan estetika sehingga menghasilkan bangunan dengan bentuk tidak simetris atau tidak beraturan. Dalam (SNI 1726, 2019) terdapat dua jenis ketidak beraturan struktur bangunan, diantaranya adalah ketidak beraturan horizontal dan ketidak beraturan vertikal. Bangunan dengan bentuk beraturan, sederhana, dan simetris akan berperilaku lebih baik terhadap gempa dibandingkan dengan bangunan yang tidak beraturan (Paulay and Priestley, 1992). Pengaruh gaya gempa akan berbeda jika diaplikasikan terhadap bangunan beraturan dan tidak beraturan. 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).

Bentuk gedung yang lebih dianjurkan dalam perencanaan bangunan tahan gempa adalah yang mempunyai konfigurasi beraturan dalam arah vertikal maupun horizontal. Bangunan yang memiliki perbedaan panjang dan lebar yang besar atau bentuk yang tidak beraturan biasanya merupakan bentuk yang sulit digunakan untuk desain tahan gempa. Sistem dilatasi merupakan salah satu cara agar bangunan memiliki bentuk yang lebih sederhana. Dilatasi adalah pemisahan struktur bangunan secara fisik, sehingga menjadikan bangunan terbagi kedalam beberapa bagian dan memiliki konfigurasi yang lebih beraturan untuk bekerja masing-

masing. Sistem ini memerlukan celah antar bangunan sehingga dapat mengakomodasi terjadinya perpindahan maksimum pada struktur bangunan yang bersebelahan (Dafrawi, 2016).

Salah satu bentuk bangunan yang tidak simetris yaitu, bangunan yang terdapat pada Hotel Nusa Dua Beach. Hotel ini terletak di Kawasan pariwisata Nusa Dua yang merupakan hotel pertama kali dibangun dan mulai beroperasi pada tahun 1983 (Purnaya, 2015). Jika dilihat dari tahun pembangunannya struktur bangunan gedung Hotel Nusa Dua Beach menggunakan acuan beton yaitu peraturan beton Indonesia tahun 1971 dan peraturan gempa yaitu peraturan muatan Indonesia 1970. Pada bangunan Hotel Nusa Dua Beach terdapat bentuk bangunan dengan denah zig-zag kearah horizontal. Zig-zag dalam KBBI berarti berliku, pola zig-zag yang terdiri dari sudut-sudut kecil yang sama dan dapat digambarkan sebagai bergerigi dan cukup teratur. Oleh sebab itu bangunan hotel Nusa Dua Beach memiliki bentuk bangunan yang tidak beraturan. Bentuk bangunan ireguler dapat menyebabkan perbedaan kekakuan antar blok, terdapat blok dengan kekakuan kuat dan kekakuan yang lebih kecil. Perbedaan kekakuan ini dapat menyebabkan gedung bergetar dalam mode yang berbeda, sehingga menyebabkan kerusakan. Umumnya hal seperti ini diatasi dengan memberikan celah atau yang biasa disebut dilatasi (Hadinata, Nurlina and Simatupang, 2017).

Berdasarkan latar belakang diatas maka peneliti melakukan penelitian tentang Analisis Perilaku struktur denah zig-zag terhadap gempa Studi Kasus Gedung Hotel Nusa Dua Beach. Dalam penelitian ini akan di tinjau perbandingan perilaku struktur antara struktur yang menjadi satu kesatuan dengan struktur yang mengalami beberapa pemisahan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka diperoleh rumusan masalah yaitu:

- a. Bagaimana perilaku struktur denah zig-zag Hotel Nusa Dua Beach terhadap gempa?
- b. Bagaimana perilaku struktur bangunan gedung yang ditinjau setelah dilakukannya skema dilatasi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang dilakukan adalah untuk:

- a. Mengetahui hasil analisa perilaku struktur denah zig-zag Hotel Nusa Dua Beach terhadap gempa
- b. Mengetahui perilaku struktur bangunan gedung yang ditinjau setelah dilakukannya skema dilatasi

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Menguasai dasar dan tahapan dalam perhitungan struktur
- b. Mampu melakukan Analisa perhitungan gaya-gaya dalam pada struktur akibat beban yang bekerja
- c. Mampu menganalisis kekuatan struktur bangunan dengan denah zig-zag untuk mengetahui kekuatan struktur Gedung yang memenuhi syarat kekuatan, kenyamanan dan keamanan

1.5 Batasan Masalah

Agar perencanaan ini dapat diselesaikan secara sistematis dan terarah maka perlu adanya Batasan sebagai berikut:

- a. Tidak Menganalisis Pondasi. Pondasi dianggap sebagai perletakan jepit pada permukaan tanah.
- b. Struktur yang dianalisa bersifat *open frame*, kekakuan dinding pengisi diabaikan, keberadaannya dianggap sebagai beban merata dan tidak mempengaruhi kekakuan struktur.
- c. Tidak menganalisis tangga, tangga dimodelkan menjadi plat lantai.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Struktur Beton Bertulang

Struktur bangunan adalah komponen pada bangunan yang bekerja sebagai penyalur beban yang diakibatkan oleh beban-beban yang bekerja pada bangunan itu sendiri. Beban-beban pada bangunan tersebut menumpu pada elemen-elemen untuk selanjutnya disalurkan ke bagian bawah tanah bangunan, sehingga beban-beban tersebut akhirnya dapat di tahan (Ariestadi, 2008). Struktur berfungsi untuk memperkuat bangunan dan memberikan kekakuan yang dibutuhkan oleh bangunan untuk mencegah keruntuhan bangunan. Struktur terdiri dari beberapa elemen-elemen yang mana elemen-elemen tersebut ditempatkan dan saling berhubungan dengan maksud supaya struktur mempunyai sifat dapat menahan beban tertentu (Schodek and Daniel, 1998).

Beton adalah sebuah bahan bangunan dengan material penyusun utama terdiri dari kerikil, pasir dan campuran semen dan air sebagai pengikatnya. Dalam beberapa kondisi tertentu beton juga ditambahkan bahan lain (*admixture*) untuk memperbaiki kualitas beton. Beton pada umumnya memiliki kekuatan tekan yang tinggi tetapi lemah dalam menahan beban Tarik. Maka dari itu perimbangan antara beton sebagai penahan tekan dan baja sebagai penahan Tarik menghasilkan gaya-gaya internal. Ada tiga kemungkinan yang terjadi oleh perimbangan gaya-gaya internal pada bahan beton dan baja tulangan:

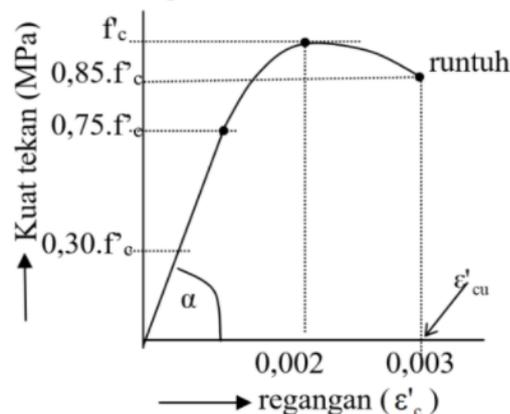
- a. Kondisi tulangan lemah merupakan kondisi dimana kekuatan baja lebih lemah dari betonnya maka oleh beban ultimit baja Tarik rusak/leleh lebih dulu. Pada kondisi ini akan adanya tanda-tanda buruk terlebih dahulu jika

akan terjadi kerusakan sehingga pemakai/pengguna dapat menghindar terlebih dahulu sebelum terjadinya keruntuhan.

- b. Kondisi Baja Seimbang merupakan kondisi ideal dimana baja tarik akan meleleh bersamaan dengan rusaknya beton. Namun di kenyataan dilapangan tidak pernah terjadi dikarenakan kualitas beton yang dirancang tidak mungkin benar-benar secara tepat dipenuhi dan seragam dan atau luasan tulangan tidak secara tepat dipenuhi karena keterbatasan ukuran tulangan dan keterbatasan kualitas baja yang tersedia dilapangan.
- c. Kondisi pemasangan tulang berlebihan dapat menjadikan beton tekan akan rusak lebih dulu. Kerusakan bersifat getas menyebabkan beton meledak/mengelupas. Tanda-tanda kerusakan tidak tampak betul sehingga tidak memberikan kesempatan pemakainya ntuk menghindar dari keruntuhan.

2.1.1 Kuat Tekan Beton

Karena sifat utama beton adalah sangat kuat menerima beban tekan, maka mutu beton pada umumnya ditinjau terhadap kuat tekan beton tersebut (Ir H Ali Asroni, 2017).

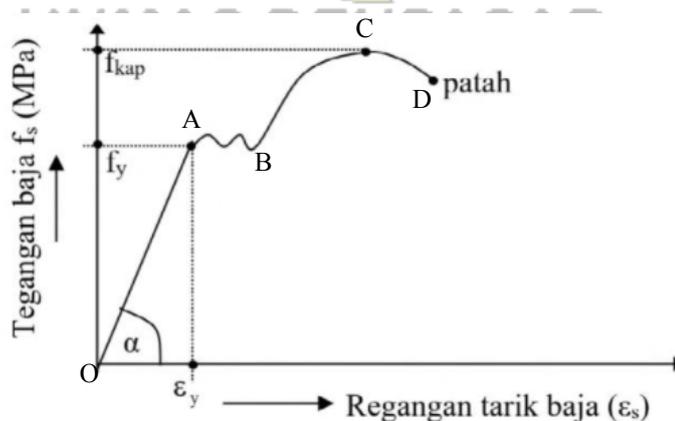


Gambar 2. 1 Diagram Tegangan dan Regangan Tekan Beton
Sumber: Ir. H. Ali Asroni, M.T

- Pada saat beban tekan mencapai $0,3 f'_c - 0,4f'_c$ perilaku regangan beton masih linier
- Pada saat beban tekan melebihi $0,3 f'_c - 0,4f'_c$, retak-retak mulai terbentuk pada beton. Mulai terjadi deviasi pada hubungan trngangan-regangan dari kondisi linier.
- Pada saat beban tekan mencapai $0,75 f'_c - 0,90f'_c$ hubungan regangan beton semakin menyimpang dari kondisi linier
- Pada saat kuat tekan beton mencapai puncak menunjukkan beton akan runtuh maka tegangan beton turun menjadi $0,85 f'_c$ sedangkan regangan tekan tetap naik mencapai batas retak sebesar $\epsilon'_c 0,003$

2.1.2 Kuat Tarik Baja Tulangan

Meskipun baja tulangan juga mempunyai sifat tahan beban tekan, tetapi karena harganya yang cukup mahal maka baja tulangan diutamakan untuk menahan beban tarik pada beton bertulang, sedangkan beban tekan cukup ditahan oleh beton (Ir H Ali Asroni, 2017).



Gambar 2. 2 Diagram Tegangan dan Regangan Tarik Baja
Sumber: Ir. H. Ali Asroni, M.T

Pada titik O-A menunjukkan daerah elastis linier. Setelah mencapai titik A dimana titik A merupakan titik leleh, baja tulangan mengalami pertambahan regangan dengan sedikit atau tanpa adanya pertambahan tegangan, sampai pada titik B. Setelah itu baja tulangan memasuki daerah strain hardening yaitu daerah dimana pertambahan regangan diikuti oleh pertambahan tegangan yang cukup besar mencapai tegangan maksimum pada titik C. Setelah melewati titik C pertambahan tegangan seharusnya menyebabkan bertambahnya regangan dari baja tulangan, tetapi karena luasan penampang baja tulangan mengecil maka akhirnya turun sampai putus di titik D (Hariono, 1993).

2.2 Elemen-Elemen Struktur

a. Kolom

Kolom berfungsi sebagai pendukung beban-beban dari balok dan pelat untuk diteruskan ke tanah dasar melalui fondasi. Beban dari balok dan pelat ini berupa beban aksial tekan serta momen lentur. Pada struktur bangunan, kolom merupakan komponen struktur paling penting untuk diperhatikan karena apabila kolom mengalami kegagalan maka berakibat keruntuhan bangunan secara keseluruhan (Ir H Ali Asroni, 2017)

Kapasitas penampang kolom beton bertulang dapat dinyatakan dalam bentuk diagram interaksi P-M yang menunjukkan hubungan beban aksial dan momen lentur pada kondisi batas. Diagram interaksi kolom ini dibuat dengan pertolongan dua buah sumbu yaitu sumbu vertical yang menggambarkan besar beban aksial P atau gaya normal N, sedangkan sumbu horizontal sendiri menggambarkan besarnya momen lentur M yang dapat ditahan oleh kolom. Penentuan P dan M pada diagram interaksi

tersebut perlu mempelajari terlebih dahulu sifat diagram interaksi yang ada serta titik-titik penting dalam pembuatan diagram interaksi ini, adapun titik-titik tersebut antara lain:

1) Penampang kolom pada kondisi beban sentris

Pada beban sentris yang berarti beban tersebut tepat bekerja pada sumbu longitudinal kolom sehingga beton maupun baja tulangan menahan beban tekan.

$$\phi P_n = \phi P_n \max = 0,80 \phi (A_g - A_{st}) 0,85 f'_c + A_{st} f_y \quad (2.1)$$

2) Penampang kolom pada kondisi beton tekan menentukan

Pada kondisi ini jika beban P_n digeser ke kanan, maka pada penampang kolom sebelah kiri mulai menahan beban tarik relative kecil, sedangkan kolom sebelah kanan tetap menahan beban tekan yang cukup besar sehingga menimbulkan retak.

3) Penampang kolom pada kondisi beban Balance

Pada kondisi seimbang terjadi pada penampang kolom, ketika beban P_b bekerja pada penampang, yang akan menghasilkan tulangan tarik mencapai leleh bersamaan dengan regangan beton tekan mencapai batas retak sebesar 0,003.

$$\frac{c_b}{d} = \frac{0,003}{0,003 + \frac{f_y}{E_s}} \quad (2.2)$$

atau dengan $E_s = 200000$, maka :

$$C_b = \frac{600 d}{600 d + f_y} \quad (2.3)$$

Persamaan kesetimbangan pada kondisi *balance* :

$$P_b = N_{D1} + N_{D2} - N_T \quad (2.4)$$

Sehingga eksentrisitas *balance* (e_b) dapat ditulis sebagai berikut :

$$P_b (e_b + d/2) = M_{nb} \quad (2.5)$$

$$M_{rb} = \phi P_b e_b \quad (2.6)$$

4) Penampang kolom pada kondisi tulangan tarik menentukan

Pada kondisi ini beban aksial P_n telah berada pada kondisi penampang seimbang, kemudian beban tersebut digeser lagi kekanan maka luas penampang beton tekan semakin kecil sehingga regangan tekan beton juga semakin kecil dan nilai c ikut mengecil juga. Sebaliknya, luas penampang beton tarik akan berubah semakin besar, sehingga regangan tulangan tarik melebihi batas leleh.

5) Penampang kolom pada kondisi $P_n = 0$

Pada kondisi $P_n = 0$ kolom hanya menahan momen lentur saja.

Keseimbangan pada kondisi momen murni yaitu :

$$N_{D1} + N_{D2} = N_T \quad (2.7)$$

Dimana :

$$N_{D1} = 0,85 f'_c b a \quad (2.8)$$

$$N_{D2} = f'_s A'_s \quad (2.9)$$

$$N_T = f_y A_s \quad (2.10)$$

Selisih akibat perhitungan sangat kecil sehingga dapat diabaikan.

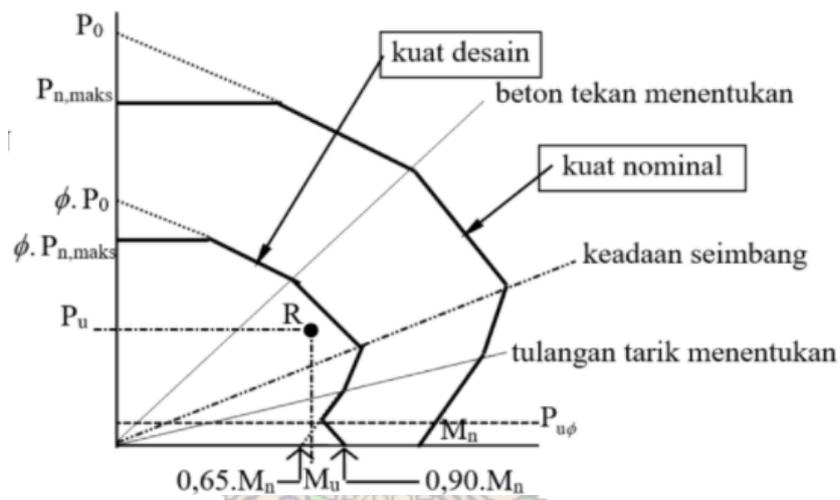
Persamaan yang diperoleh dari segitiga sebangun dengan tinggi sumbu netral pada c yaitu :

$$f'_s = E_s \varepsilon'_s = \frac{E_s 0,003(c-d')}{c} \quad (2.11)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan-persamaan di atas akan dihasilkan persamaan pangkat dua dengan perubah tinggi sumbu netral c . Momen rencana dapat dihitung sebagai berikut :

$$M_r = \phi M_n \quad (2.12)$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} = N_{D1} Z_1 + N_{D2} Z_2 \quad (2.13)$$



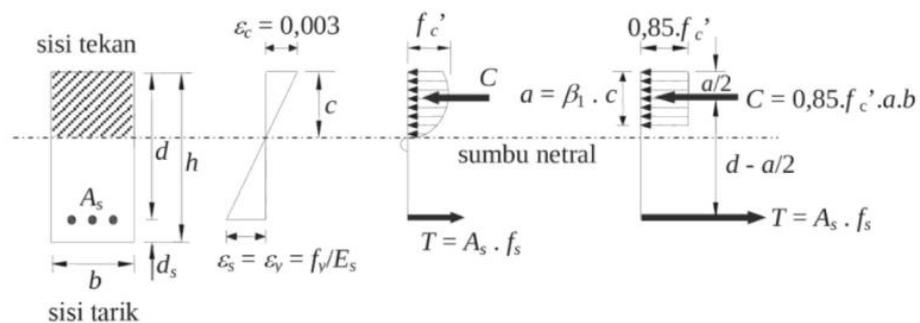
Gambar 2.3 Diagram interaksi P-M kolom
(Sumber : Ir. Ali Asroni, M.T.)

b. Balok

Balok beton adalah bagian dari struktur yang berfungsi sebagai penyalur momen menuju struktur kolom. Balok dikenal sebagai elemen lentur, yaitu elemen struktur yang dominan memikul gaya dalam berupa momen lentur dan gaya geser. Hal yang perlu diperimbangkan dalam perancangan balok antara lain bahwa kerusakan bila terjadi harus diawali dengan lendutan yang besar oleh momen lentur (*ductile*) bukan rusak mendadak (*brittle*).

Menurut Nawy (1990), apabila beban pada balok bertambah, maka akan terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya (bertambahnya retak) lentur disepanjang bentang balok. Bila bebannya

semakin bertambah, pada akhirnya dapat terjadi keruntuhan elemen struktur, yaitu pada saat beban luarnya mencapai kapasitas elemen. Taraf pembebanan demikian disebut keadaan limit dari keruntuhan pada lentur. Berikut merupakan cara perhitungan kekuatan nominal balok dari balok beton bertulang.



Gambar 2. 4 Diagram tegangan regangan beton bertulang
Sumber : Henricus Priyosulistyo

c. Pelat

Struktur pelat datar digunakan secara horisontal dan memikul beban sebagai lentur dan meneruskannya ke tumpuan. Struktur pelat dapat terbuat dari beton bertulang ataupun baja. Pelat horisontal dapat dibuat dengan pola susunan elemen garis yang kaku dan pendek, dan bentuk segitiga tiga dimensi digunakan untuk memperoleh kekakuan yang lebih baik. Struktur pelat dapat berupa pelat lipat (*folded plate*) yang merupakan pelat kaku, sempit, panjang, yang digabungkan di sepanjang sisi panjangnya dan digunakan dengan bentang horisontal (Schodek and Daniel, 1998).

2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem Rangka Pemikul Momen (*Moment Resisting Frame*) ini terbagi menjadi 3, yaitu SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa), SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah), dan SRPMK (Sistem Rangka

Pemikul Momen Khusus). SRPMB merupakan sistem yang memiliki deformasi inelastik dan tingkat daktilitas yang paling kecil tapi memiliki kekuatan yang besar. SRPMM adalah suatu metode perencanaan struktur sistem rangka pemikul momen yang menitik beratkan kewaspadaannya terhadap kegagalan struktur akibat keruntuhan geser. SRPMK adalah komponen struktur yang mampu memikul gaya akibat beban gempa dan direncanakan untuk memikul lentur (SNI 1726, 2019).

2.4 Struktur Bangunan Tidak Beraturan

Menurut SNI 1726:2019, struktur gedung dapat diklasifikasikan sebagai bangunan beraturan dan tidak beraturan. Kriteria ini harus berdasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur bangunan gedung.

2.4.1. Ketidakberaturan Horizontal

Struktur bangunan gedung dapat mempunyai satu atau lebih ketidakberaturan horizontal jika memenuhi syarat-syarat yang akan dijelaskan. Ketidakberaturan horizontal menurut SNI 1726:2019 dapat diklasifikasi sebagai berikut:

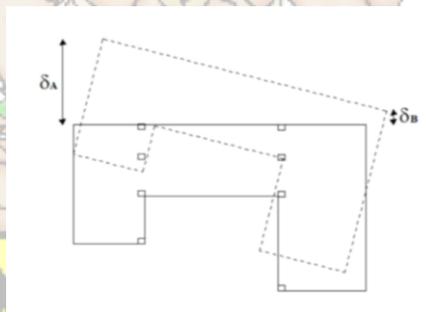
Tabel 2. 1 Ketidakberaturan horizontal pada struktur

No	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan Kategori Desain Seismik
1a	Ketidakteraturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	0 0 0 0 0 Tabel 16	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b	Ketidakteraturan torsi berlebihan didefinisikan 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. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	0 0 0 0 0 Tabel 16 0	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D

2	Ketidakteraturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan.	0 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
3	Ketidakteraturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 persen daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 persen dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	0 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
4	Ketidakteraturan pergeseran melintang terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal.	0 0 0 Tabel 16 0	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	Ketidakteraturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu sumbu orthogonal utama sistem penahan gaya gempa.	0 0 Tabel 16 0	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E dan F

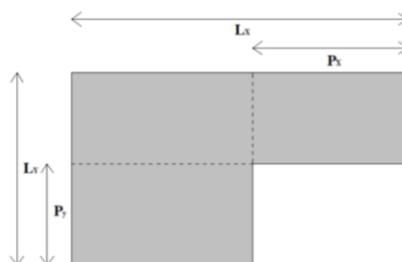
Sumber: SNI-1726, 2019

a. Ketidakteraturan Torsi



Gambar 2. 5 Ketidakteraturan torsi
(Sumber: SNI 1726,2019)

b. Ketidakteraturan Sudut Dalam



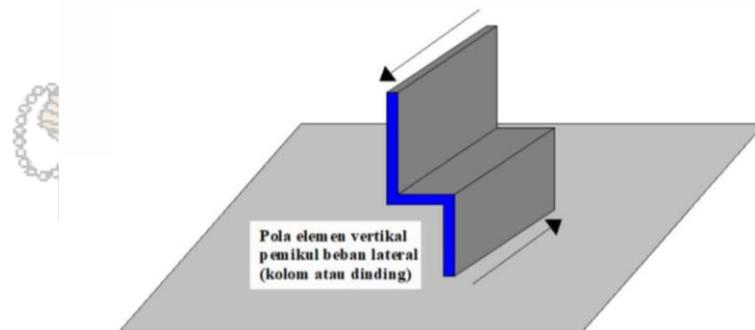
Gambar 2. 6 Ketidakteraturan sudut dalam
(Sumber: SNI 1726,2019)

c. Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma



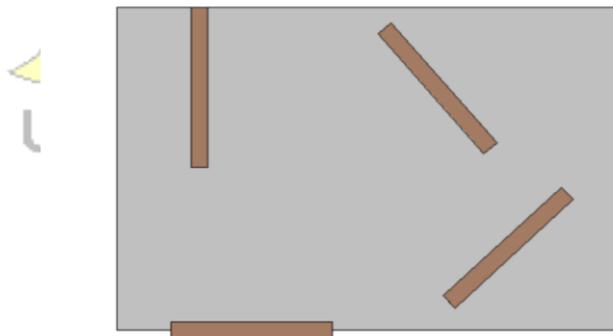
Gambar 2. 7 Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma
(Sumber: SNI 1726,2019)

d. Ketidakberaturan Pergeseran Melintang Terhadap Bidang



Gambar 2. 8 Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang
(Sumber: SNI 1726,2019)

e. Ketidakberaturan Sistem Nonparalel



Gambar 2. 9 Ketidakberaturan Sistem Nonparalel
(Sumber: SNI 1726,2019)

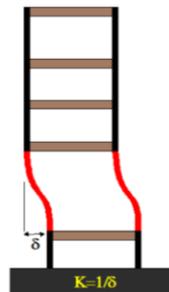
2.4.2. Ketidakberaturan Vertikal

Tabel 2. 2 Ketidakberaturan vertikal pada struktur

No	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan Kategori Desain Seismik
1a	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 16	D, E, dan F
1b	Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 60 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya	0 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
2	Ketidakberaturan berat (massa) didefinisikan ada jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150 persen massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 16	D, E, F
3	Ketidakberaturan geometri vertical didefinisikan ada jika dimensi horisontal system penahan gaya gempa di semua tingkat lebih dari 130 persen dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya.	Tabel 16	D, E, F
4	Diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal didefinisikan ada jika pegeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya.	0 0 Tabel 16	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a	Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.	0 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
5b	Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang berlebihan didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat tingkat adalah kuat total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.	0 0 Tabel 16	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

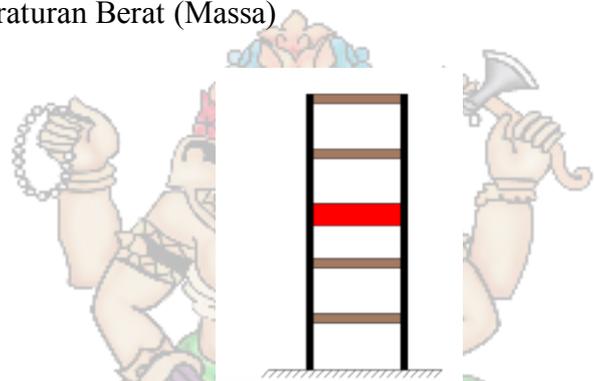
Sumber: SNI-1726, 2019

- a. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak



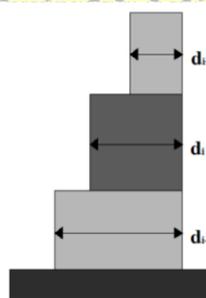
Gambar 2. 10 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak
(Sumber: SNI 1726,2019)

- b. Ketidakberaturan Berat (Massa)



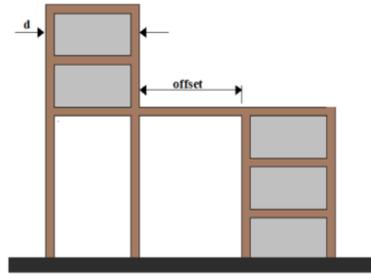
Gambar 2. 11 Ketidakberaturan Berat (Massa)
(Sumber: SNI 1726,2019)

- c. Ketidakberaturan Geometri Vertikal



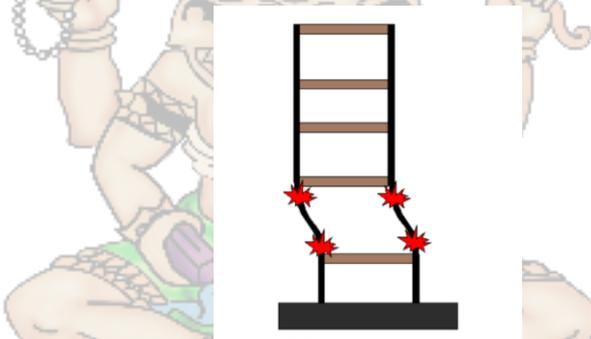
Gambar 2. 12 Ketidakberaturan Geometri Vertikal
(Sumber: SNI 1726,2019)

- d. Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakteraturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal



Gambar 2. 13 Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakteraturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal
(Sumber: SNI 1726,2019)

- e. Diskontinuitas dalam Ketidakteraturan Kuat Lateral Tingkat



Gambar 2. 14 Diskontinuitas dalam Ketidakteraturan Kuat Lateral Tingkat
(Sumber: SNI 1726,2019)

2.3 Prosedur Analisis

Menurut SNI 1726 tahun 2019 analisis struktur yang disyaratkan pada perencanaan umum struktur bangunan harus terdiri dari salah satu tipe yang diijinkan dalam table prosedur analisis yang boleh digunakan, berdasarkan pada kategori desain seismik struktur, system struktur, property dinamis, dan keteraturan, atau dengan persetujuan pemberi ijin yang mempunyai kuasa hukum, sebuah prosedur alternatif yang diterima secara umum diijinkan digunakan. Prosedur analisis dipilih harus dilengkapi sesuai dengan persyaratan dari pasal yang terkait yang dirujuk dalam tabel 2.3

Tabel 2. 3 Prosedur analisis yang boleh digunakan

Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen Pasal 7.8	Analisis spektrum respons ragam Pasal 7.9	Prosedur Riwayat respon seismik Pasal 11
B, C	Bangunan dengan Kategori Risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan kategori Risiko I atau II, dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	I	I	I
	Semua struktur lainnya	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan Kategori Risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan Kategori Risiko I atau II dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	I	I	I
	Struktur beraturan dengan $T < 3,5T_s$ dan semua struktur dari konstruksi rangka ringan	I	I	I
	Struktur tidak beraturan dengan $T < 3,5T_s$ dan mempunyai hanya ketidakberaturan horizontal tipe 2, 3, 4, atau 5 dari Tabel 10 atau ketidakberaturan vertical Tipe 4, 5a, atau 5b dari Tabel 11	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

Catatan :

I : Diiijinkan TI: Tidak Diiijinkan

Sumber: SNI 1726, 2019

2.4 Dilatasi

a. Pengertian

Dilatasi adalah sebuah sambungan atau pemisah pada suatu bangunan yang karena suatu akibat memiliki sistem struktur yang berbeda dengan maksud menghindari keretakan pada bangunan yang ditimbulkan oleh getaran horizontal maupun vertikal. Dimana dilatasi itu sendiri juga digunakan untuk memperkecil momen pluntir suatu bangunan yang dapat mengakibatkan keretakan pada bangunan atau yang lebih parah bisa berakibat pada keruntuhan bangunan itu sendiri yang biasanya diakibatkan oleh gaya geser atau saat

terjadinya gempa (Trikanada, 2020). Dilatasi sendiri pada suatu struktur bangunan mempunyai fungsi diantaranya adalah:

- 1) Memperkecil terjadinya keruntuhan suatu bangunan akibat terjadinya suatu gempa.
- 2) Memperkecil momen pluntir yang terjadi pada saat adanya gempa.

b. Jenis-Jenis Dilatasi

1) Dilatasi 2 Kolom

Dilatasi 2 Kolom adalah dilatasi yang menggunakan 2 kolom yang dipasang secara berdampingan. Dilatasi 2 Kolom pada sebuah bangunan biasanya dipakai pada bangunan yang mempunyai bentuk memanjang.

2) Dilatasi Balok Kantilever

Dilatasi Balok Kantilever adalah sebuah dilatasi yang pada salah satu ujung baloknya memiliki perletakan (jepit) dan ujung balok yang lainnya bebas. Sifat-sifat tumpuan jepit diantaranya adalah tidak dapat bergeser (vertikal maupun horizontal) dan berputar, dapat menahan gaya horizontal, gaya vertikal dan momen.

3) Dilatasi dengan balok gerber

Dilatasi balok gerber adalah dilatasi yang digunakan apabila jarak kolom diinginkan tetap sama dan mempunyai kekurangan apabila ada beban horizontal yang cukup besar atau adanya geseran waktu terjadinya gempa bumi maka bisa berakibat balok gerber terlepas dan akhirnya jatuh.

4) Dilatasi Konsol

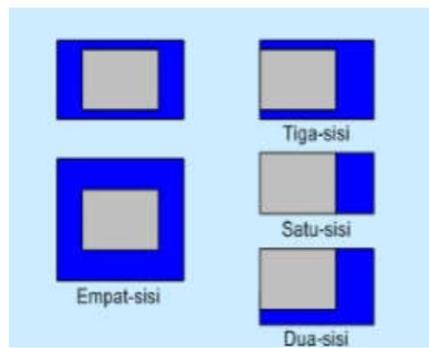
Dilatasi yang bisa diterapkan pada bangunan yang memakai system material prefabrikasi dan apabila menginginkan jarak kolom.

2.5 Perkuatan Kolom

Triwiyono (2000) menyatakan bahwa perbaikan atau perkuatan struktur atau elemen-elemen struktur diperlukan apabila terjadi degradasi bahan yang berakibat tidak terpenuhi lagi persyaratan-persyaratan yang bersifat teknik yaitu: kekuatan (*strength*), kekakuan (*stiffness*), stabilitas (*stability*) dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan (*durability*). Ada dua jenis perbaikan yang dapat dilakukan dalam pekerjaan *retrofitting* yaitu *repairing* dan *strengthening*. Istilah *repairing* diterapkan pada bangunan yang sudah rusak, dimana telah terjadi penurunan kekuatan, untuk dikembalikan seperti semula. Sedangkan *strengthening* adalah suatu tindakan modifikasi struktur, mungkin belum terjadi kerusakan, dengan tujuan untuk menaikkan kekuatan atau kemampuan bangunan untuk memikul beban-beban yang lebih besar akibat perubahan fungsi bangunan dan stabilitas. Adapun jenis-jenis perkuatan kolom antara lain *concrete jacketing* dan *stainless steel jacketing* (Khoeri, 2021):

a. *Concrete jacketing*

Concrete jacketing adalah suatu sistem perkuatan atau perbaikan beton dengan cara menyelimuti beton yang telah ada dengan beton tambahan. Teknik perkuatan struktur ini digunakan pada kolom bangunan yang bertujuan untuk memperbesar penampang kolom, maka penampang kolom menjadi besar dari pada sebelumnya sehingga kekuatan geser beton menjadi meningkat.



Gambar 2. 15 Tampak Atas *Concrete Jacketing*

b. *Steel Jacketting*

Jacketting baja adalah suatu teknik untuk memperkuat kolom persegi beton bertulang. *Jacketting* baja terdiri dari empat sudut baja longitudinal yang ditempatkan di setiap sudut kolom. Sudut longitudinal ini terhubung bersama menjadi sebuah kerangka yang dihubungkan dengan strap baja transversal.



Gambar 2. 16 *Steel Jacketting*

2.6 Pemodelan Struktur dan Beban

Dalam melakukan analisis desain suatu struktur, diperlukan adanya gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur (Schodek,

1998). Maka dari itu, berikut akan dibahas mengenai teori pembebanan struktur, parameter perilaku bangunan tahan gempa, dan metode analisis respon spektrum.

2.4.1. Pembebanan Struktur

Beban dapat dikelompokkan ke dalam dua kelompok utama bergantung pada gaya gravitasi yang bekerja pada suatu bangunan, yaitu statis dan dinamis. Beban dinamis adalah beban yang bekerja secara tiba-tiba pada struktur. Pada umumnya, beban ini tidak bersifat tetap (unsteady-state) serta mempunyai karakteristik besaran dan arah yang berubah dengan cepat.(Nur Yoritama,2010). Sedangkan beban statis adalah gaya yang bekerja secara perlahan-lahan pada struktur dan mempunyai karakter steady-state. Deformasi (Schodek and Daniel, 1998)

a. Beban Mati

Menurut SNI 1727:2013, Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran. Metode untuk menghitung beban mati suatu elemen didasarkan atas peninjauan berat satuan material yang terlibat dan berdasarkan volume elemen tersebut. Berat satuan (unit weight) material secara empiris ditentukan dan telah banyak dicantumkan tabelnya dalam berbagai sumber untuk memudahkan perhitungan beban mati (Schodek and Daniel, 1998)

b. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban-beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk kurun suatu waktu yang diberikan. Meskipun dapat berpindah-pindah, beban hidup masih dapat dikatakan bekerja secara perlahan-lahan pada

struktur. Beban penggunaan (occupancy load) adalah beban hidup. Yang termasuk ke dalam beban penggunaan adalah berat manusia, perabot, material yang disimpan, dan sebagainya. Semua beban hidup mempunyai karakteristik dapat berpindah atau bergerak (Schodek and Daniel, 1998). Beban hidup berbeda dengan beban mati karena sifatnya yang berubah-ubah dan sulit untuk diperkirakan. Perubahan beban hidup terjadi tidak hanya sepanjang waktu, tetapi juga sebagai fungsi tempat. Perubahan ini bisa berjangka pendek ataupun panjang sehingga hampir mustahil untuk memperkirakan beban-beban hidup secara statis. Untuk memperhitungkan peluang terjadinya beban hidup yang sewaktu-waktu dapat berubah-ubah, maka beban hidup dapat dikalikan dengan suatu koefisien reduksi.

Tabel 2. 4 Faktor Reduksi Kekuatan Struktur Beton Bertulang

Jumlah Lantai yang Dipikul	Koefisien Reduksi yang Dikalikan Beban Hidup
1	1,00
2	1,00
3	0,90
4	0,80
5	0,70
6	0,60
7	0,50
8 atau lebih	0,40

(Sumber : SNI 03-1727-1989)

c. **Beban Gempa**

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada bangunan atau bagian-bagian yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Ketika pengaruh gempa pada struktur bangunan ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya didalam struktur tersebut yang terjadi oleh pergerakan tanah akibat gempa tersebut (Juwana, 2005).

d. Kombinasi Pembebanan

Bangunan tinggi akan menghadapi berbagai beban sepanjang usia bangunan tersebut, dan banyak diantaranya yang bekerja bersamaan. Efek beban harus digabung apabila beban bekerja pada garis kerja yang sama dan harus dijumlahkan. Keadaan ini membuat kita harus merancang struktur yang mempertimbangkan semua kemungkinan kombinasi pembebanan. Kemungkinan terjadinya beban kombinasi harus dievaluasi secara statistik dan diprediksi akibatnya. Apabila penentuan aksi beban dilakukan lebih tepat, maka faktor keamanan yang dibuat untuk mencegah hal-hal yang tidak diketahui dapat dikurangi. Kombinasi beban yang efektif disyaratkan dalam peraturan (Wolfgang, 2001) Peraturan beban di Indonesia yaitu SNI 1727:2013 tentang Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain. Menurut SNI 03-2847 (2013) tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, kombinasi beban terfaktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

Tabel 2. 5 Kombinasi Beban

NO	KOMBINASI BEBAN
1.	$1,4D$
2.	$1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$
3.	$1,2D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4.	$1,2D + 1,0W + L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$
5.	$0,9D + 1,0W$
6.	$1,2D + E_v + E_h + L$
7.	$0,9D - E_v + E_h$

(Sumber : SNI 1726:2019)

Keterangan

D = Beban Mati

L = Beban Hidup

E = Beban Gempa

Lr = Beban Hidup Atap

R = Beban Hujan

Eh = pengaruh beban gempa horizontal

Ev = pengaruh beban gempa vertikal

Pengecualian:

Pengecualian: Faktor beban untuk L pada kombinasi 3,4 dan 6 diizinkan diambil sama dengan 0,5 untuk semua fungsi ruang apabila beban hidup desain tak tereduksi (L_o) dalam SNI 1727, lebih kecil atau sama dengan 4,78 kN/m, kecuali garasi atau ruang pertemuan publik. (SNI 1726,2019)

e. Kombinasi Envelope

Kombinasi beban type envelope sering dipakai untuk menyederhanakan proses analisis yang berfungsi mencari nilai maksimum dan minimum dari posisi beban maupun kombinasi pembebanan yang dimasukkan (Kurniadi, 2020).

2.4.2. Parameter Perilaku Bangunan Tahan Gempa

a. Gaya geser dasar (*base shear*)

Gaya geser dasar merupakan penyederhanaan getaran gempa bumi yang bekerja pada dasar bangunan. Gaya geser dasar digunakan sebagai gaya gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung. Gaya geser dasar menurut SNI 1726:2019 adalah gaya geser atau lateral total yang terjadi pada tingkat dasar. Geser dasar seismik (V), pada pasal 7.8.1 harus sesuai dengan persamaan berikut:

$$V=C_s W \quad (2.1)$$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{\left[\frac{R}{I_e} \right]} \quad (2.2)$$

Dengan nilai C_s tidak perlu melebihi:

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left[\frac{R}{I_e} \right]} \quad (2.3)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T \left[\frac{R}{I_e} \right]} \quad (2.4)$$

C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = 0,44 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (2.5)$$

Keterangan:

C_s = Koefisien respons seismik

W = Berat seismik efektif

S_{DS} = Parameter percepatan spectrum respon desain dalam rentang
periode pendek

S_{D1} = Parameter percepatan spectrum respon desain dalam rentang
periode pendek

R = Faktor modifikasi respon

I_e = Faktor Keutamaan Gempa

T = periode fundamental struktur

b. Simpangan Antar Lantai

Menurut SNI 1726:2019 pasal 7.8.6, penentuan simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau.

Menurut SNI 1726:2019 penentuan defleksi di dasar tingkat (δ_x) boleh ditinjau Apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung berdasarkan proyeksi vertikal dan pusat massa di tingkat

atasnya. sesuai pada **gambar 2.17**. Defleksi pusat massa di tingkat (δ_x) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

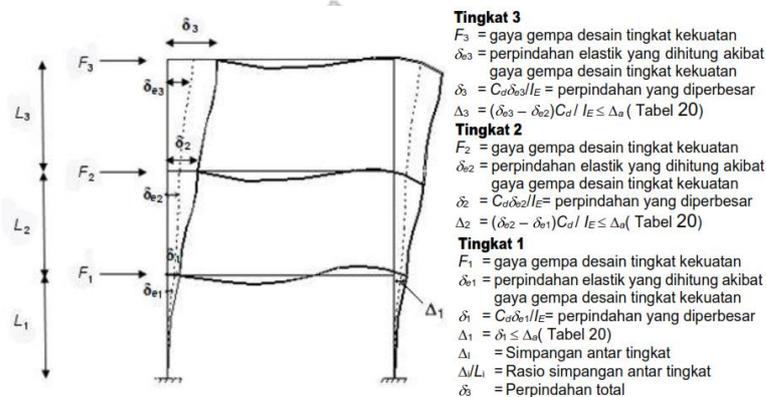
$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \tag{2.6}$$

Keterangan:

C_d = faktor amplikasi defleksi

δ_{xe} = defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada analisis elastis

I_e = faktor keutamaan gempa



Gambar 2. 17 Penentuan Simpangan Antar Lantai
 (Sumber : SNI 1726:2019)

Menurut SNI 1726: 2019 pasal 7.12.1, simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antara lantai tingkat ijin (Δ_a) tingkat seperti didapatkan dari Tabel 2,6 untuk semua tingkat.

Tabel 2. 6 Simpangan antar lantai ijin $\Delta_a^{a,b}$

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur selian dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistim dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	0.025hsx	0.020hsx	0.015hsx
Struktur dinding geser kantilever atau batu bata	0.010hsx	0.010hsx	0.010hsx
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0.070hsx	0.070hsx	0.007hsx
Semua struktur lainnya	0.020hsx	0.015hsx	0.010hsx

(Sumber : SNI 1726:2019)

2.4.4. Metode Analisis Respon Spektrum

a. Sistem Struktur

Sistem pemikul gaya horizontal dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan dalam tabel dibawah ini:

Tabel 2. 7 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Pemikul Gaya Gempa

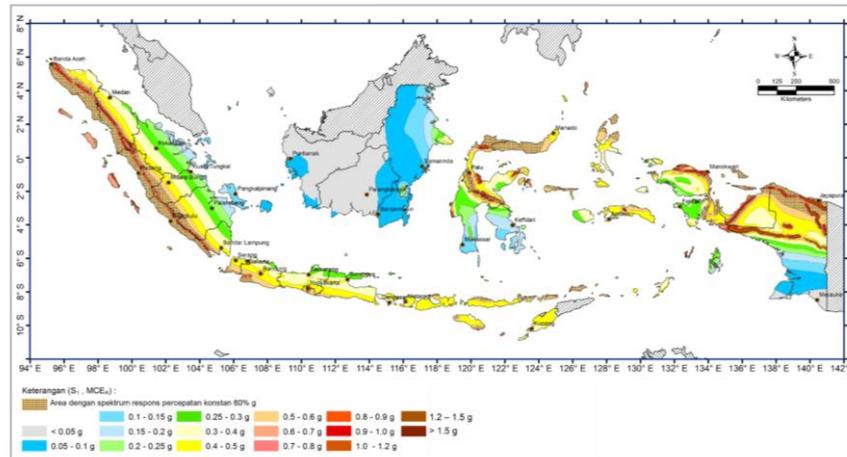
Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^g	TI ^g	TI ^g
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^h	TI ^h	TI ^h
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ⁿ	3½	3 ^o	3½	10	10	10	10	10

(Sumber : SNI 1726:2019)

b. Parameter Percepatan Gempa

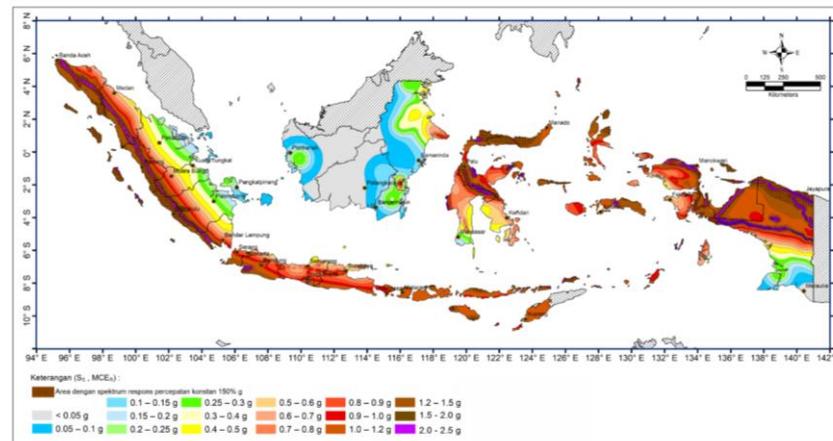
Terdapat 2 buah parameter percepatan gempa yaitu parameter percepatan batuan dasar pada perioda pendek (S_s) dan parameter percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik (S_1). Parameter percepatan batuan dasar perioda pendek dan perioda 1 detik ini harus ditetapkan masing-masing dari respon spectral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik. Peta gerak seismik dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi yang digunakan berdasarkan SNI 1726:2019 dengan kemungkinan 2 persen telampaui dalam 50 tahun (MCE_R 2 persen dalam 50 tahun). Besarnya nilai (S_s)

dilihat dari peta zonasi gempa Indonesia untuk parameter periode pendek pada gambar berikut ini.



Gambar 2.18 Parameter Respon Spektrum Periode Pendek (SS)
(Sumber : SNI 1726-2019)

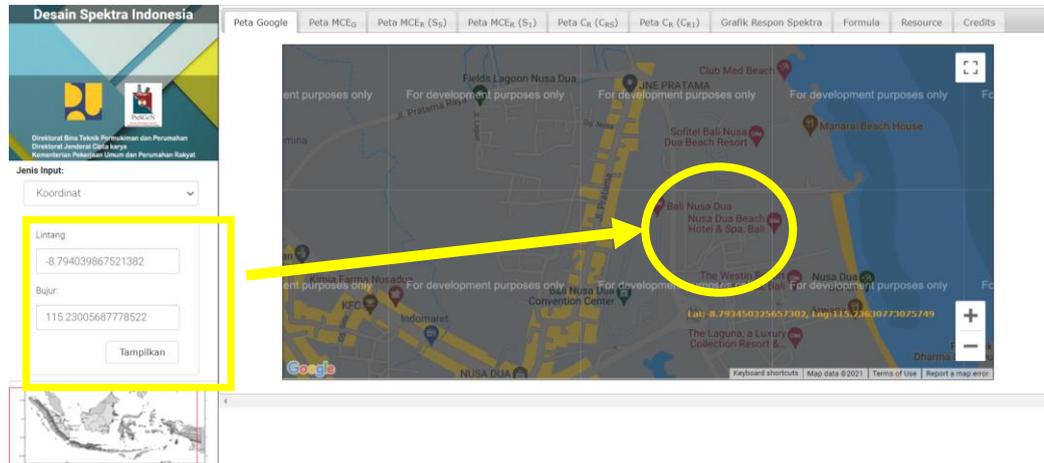
Besarnya nilai (S_1) didapat dilihat dari peta zonasi gempa Indonesia untuk parameter periode pendek pada gambar berikut ini.



Gambar 2.19 Parameter Respon Spektrum Periode Pendek (SS)
(Sumber : SNI 1726-2019)

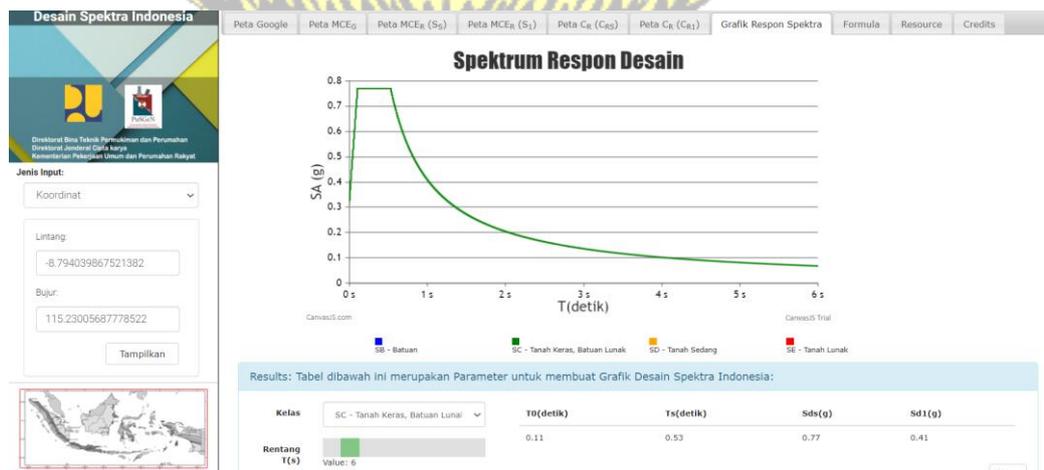
Pada penelitian ini digunakan parameter percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s) dan parameter percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1) berdasarkan software yang telah disediakan Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman – Kementerian Pekerjaan Umum. Hasil yang didapatkan dilihat berdasarkan koordinat lintang dan bujur lokasi Hotel Nusa

Dua Beach. Dalam aplikasi ini, diperlukan data koordinat untuk wilayah yang akan ditinjau seperti pada Gambar dibawah ini



Gambar 2.20 Desain Spektra Indonesia
Sumber: Puskim, 2021

Setelah memasukkan koordinat Gedung Hotel Nusa Dua Beach, aplikasi desain spektra ini akan memberikan hasil berupa parameter-parameter yang digunakan untuk perencanaan pembebanan gempa, seperti yang dihasilkan pada Gambar dibawah ini.



Gambar 2.21 Percepatan Respon Spektra
Sumber: (Puskim, 2021)

c. Kategori Resiko

Berdasarkan SNI 1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung Pasal 4.1.2, kategori resiko struktur bangunan gedung dan non gedung harus dikalikan dengan faktor keutamaan (I_e) seperti dalam tabel berikut ini:

Tabel 2. 8 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain : <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I,II,IV termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah took dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industry - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <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
Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori resiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/ gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori resiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran	

Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:

- Bangunan-bangunan monumental
- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan
- 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, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya
- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk saat keadaan darurat
- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat kendaraan darurat

IV

Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori resiko IV

(Sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 2.9 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber : SNI 1726:2019)

d. Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs suatu struktur bangunan memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Faktor ini dapat menentukan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs. Berikut ini merupakan tabel klasifikasi situs untuk mendefinisikan kelas situs.

Tabel 2.10 Klasifikasi Situs

Klasifikasi Site	\bar{V}_s (m/dt)	\bar{N}	\bar{S}_u (kPa)
SA (Batuan Keras)	$\bar{V}_s \geq 1500$	N/A	N/A
SB (Batuan)	$750 < \bar{V}_s \leq 1500$	N/A	N/A
SC (Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak)	$350 < \bar{V}_s \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
SD (Tanah Sedang)	$175 < \bar{V}_s \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{S}_u \leq 100$
SE (Tanah Lunak)	—	—	—

$V_s < 175$	$N < 15$	$S_u < 50$
Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut :		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air (w) $\geq 40\%$, dan 3. Kuat geser tak terdrainase $S_u < 25$ kPa 		
SF (Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respon spesifik (<i>Site-Specific Response Analysis</i>))	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti:	
	<ul style="list-style-type: none"> - Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan > 3m) - Plastisitas tinggi (ketebalan $H > 7.5$m dengan $PI > 75$) 	
	Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35$ m	

(Sumber : SNI 1726:2019)

e. Faktor Amplifikasi Seismik dan Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum

Faktor amplifikasi seismik diperlukan untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah. Faktor amplifikasi seismik yang digunakan yaitu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan pada getaran periode 1 detik (F_v). Berikut adalah tabel faktor amplifikasi (F_a dan F_v) berdasarkan koefisien kelas situs.

Tabel 2. 11 Koefisien situs F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

(Sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 2. 12 Koefisien situs F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

(Sumber : SNI 1726:2019)

Catatan:

- 1) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier
- 2) S_s = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Parameter percepatan gempa pada periode 0,2 detik (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs ditentukan dengan cara berikut:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (2.7)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (2.8)$$

Keterangan:

S_s = parameter respons spektral percepatan MCE_R terpetakan untuk periode pendek

S_1 = parameter respons spektral percepatan MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik

f. Parameter Spektrum Respon

Menentukan parameter percepatan spectral desain untuk perioda pendek (S_{DS})

dan Perioda 1 Detik (S_{D1}), dengan persamaan :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.9)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.10)$$

Keterangan:

S_{DS} = Parameter percepatan spectral desain untuk perioda pendek

S_{D1} = Parameter percepatan spektral desain untuk perioda 1 detik

g. Menentukan Spektrum Respons Desain

Penentuan grafik respon spektrum berdasarkan perhitungan sebagai berikut:

1) Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 :

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.11)$$

2) Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , ($T_0 < T < T_s$):

$$S_a = S_{DS} \quad (2.12)$$

3) Untuk perioda lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , spektrum respons percepatan desain S_a diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.13)$$

4) Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (2.14)$$

Keterangan :

S_{DS} = parameter respons spectral percepatan desain pada periode pendek

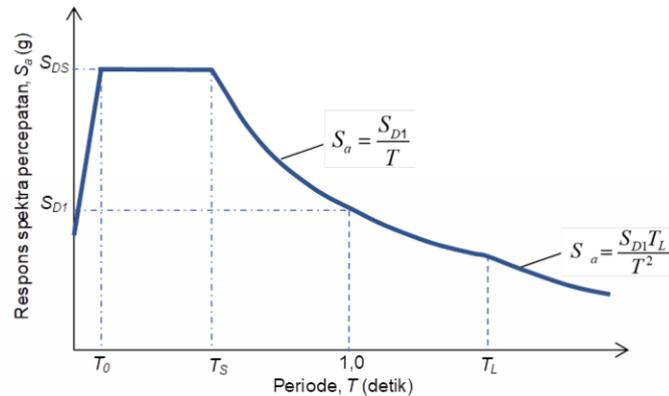
S_{D1} = parameter respons spectral percepatan desain pada periode 1 detik

T = periode getar fundamental struktur

T_L = Peta Transisi Periode Panjang

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$



Gambar 2. 22 Spektrum Respons Desain
(Sumber : SNI 1726:2019)

c. Kategori Desain Seismik

Berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{D1} , maka kategori desain seismic bangunan dapat ditentukan sesuai table berikut:

Tabel 2. 13 Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{DS}

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 : SNI 1726:2019)

Tabel 2. 14 Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{D1}

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

(Sumber : SNI 1726:2019)

2.7 Penelitian Terdahulu

Dalam mengerjakan skripsi tugas akhir ini tentunya tidak lepas dari penelitian sebelumnya atau penelitian terdahulu. Penelitian terdahulu sangat penting sebagai dasar pijakan dalam rangka penyusunan penelitian ini. Kegunaannya untuk

mengetahui hasil yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu. Terdapat beberapa penelitian yang berkaitan dengan ketidakberaturan struktur bangunan antara lain:

a. Penelitian Hotma L Purba

Hotma L Purba (2014) melakukan penelitian tentang analisis kinerja struktur bangunan tidak beraturan yang diasumsikan bangunan rumah sakit di Kota Palembang. Penelitian bertujuan untuk membandingkan kinerja struktur gedung dengan ketidakberaturan horizontal yang dibandingkan terhadap gedung beraturan dilihat dari displacement, drift ratio, base shear, level kinerja berdasarkan ATC-40, perbedaan berat beton dan tulangan. Penelitian ini menghasilkan displacement terbesar untuk arah-x yaitu pada gedung tidak beraturan model B dimana persentase selisih terhadap gedung beraturan adalah 32,57% dan untuk arah-y yaitu gedung tidak beraturan model A dengan persentase selisih 27,45%, Drift ratio terbesar arah-x adalah gedung tidak beraturan model B dan arah-y adalah model A, base shear terbesar yaitu gedung tidak beraturan model A, level kinerja berdasarkan ATC-40 untuk semua model gedung adalah immediate occupancy, kebutuhan tulangan terbesar yaitu gedung tidak beraturan model B dengan persentase selisih 34,76% dan kebutuhan beton terbesar yaitu gedung tidak beraturan model A dengan persentase selisih 7,06%.

b. Penelitian Masnawari Rahmadani

Rahmadani Rahmadani (2019) melakukan penelitian tentang analisis perilaku bangunan tidak beraturan dengan dilatasi terhadap gempa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku struktur bangunan yang lebih baik pada bangunan tidak beraturan secara horizontal dengan menerapkan

dilatasi dua kolom terhadap beban gempa. Objek dalam penelitian ini menggunakan gedung Tower Heliconia Bassura City yang berbentuk U dengan tinggi 67,72 m dan re-entrant horizontal sebesar 40,35%. Berdasarkan bangunan existing, re-entrant pada bangunan melebihi 15% dari ketentuan batas SNI 1726-2012. Model bangunan dibuat dengan menggunakan software ETABS versi 9.7.1. Metode yang digunakan untuk analisis gempa adalah *response spectrum analysis*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan dilatasi dua kolom menghasilkan perilaku struktur yang berbeda ketika diterapkan pada arah memanjang (X) dan arah lebar (Y) bangunan existing. Variasi dilatasi yang diberikan pada bangunan arah memanjang (X) menghasilkan perilaku yang lebih baik. Bentuk bangunan yang lebih teratur karena dilatasi pada arah memanjang (X) menghasilkan periode yang lebih pendek dengan geser dasar yang lebih besar. Seiring dengan geser dasar yang diterima gedung, momen kolom juga semakin besar. Berdasarkan displacement yang dihasilkan, penerapan dilatasi pada arah memanjang dipengaruhi oleh sudut re-entrant. Konfigurasi bangunan yang lebih teratur yang memiliki sudut re-entrant yang dekat dengan kondisi bangunan existing menghasilkan displacement yang mendekati existing, hal itu juga sejalan dengan pergeseran lantai yang dihasilkan. Perpindahan yang terjadi pada semua variasi dilatasi masih dalam kategori aman menurut SNI 03-1726-2012. Perpindahan terbesar yang terjadi pada arah X dan Y dihasilkan oleh variasi 1 berturut-turut sebesar 0.824m dan 0.817m.

c. Penelitian Aditya Hendratha

Aditya Hendratha (2015) melakukan penelitian tentang pengaruh dilatasi pada bangunan dengan ketidakberaturan sudut dalam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dilatasi pada bangunan dengan ketidakberaturan sudut dalam yang direncanakan secara DDBD. Bangunan perkantoran 6- dan 10-lantai akan digunakan sebagai studi kasus, dan direncanakan terhadap resiko gempa rendah (kota Surabaya) dan tinggi (kota Jayapura) di Indonesia. Bangunan direncanakan dalam dua skenario, yaitu tanpa dan dengan dilatasi. Kinerja bangunan yang dihasilkan (drift dan damage index) akan diuji dengan melakukan analisis time history.

Hasil verifikasi dari penelitian ini menunjukkan bahwa opsi dilatasi menghasilkan kinerja yang baik dan lebih efisien dari segi penggunaan bahan, namun tidak disarankan untuk digunakan pada ruang lingkup bangunan penelitian ini karena adanya selisih perpindahan kolom pada bagian dilatasi yang dinilai terlalu besar.

d. Penelitian Ni Wayan Novi Suryantari

Ni Wayan Novi Suryantari (2014) melakukan penelitian perilaku dinamis struktur gedung dengan denah lengkung. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku dinamis dari lima buah model struktur dengan variasi kelengkungan denah $R=\infty$, $R=122$, $R=108$, $R=94$, dan $R=80$ meter yang meliputi waktu getar alami struktur, gaya geser dasar, perpindahan antar lantai, kecepatan dan percepatan lantai, dan gaya-gaya dalam pada elemen struktur. Kelima model struktur memiliki dimensi pelat, balok dan kolom serta massa tingkat dan mutu material yang sama. Perilaku dinamis diperoleh dari analisis

riwayat waktu mengikuti *average acceleration* dari Newmark dimana nilai $\gamma = 1/2$ dan $\beta = 1/4$. Adapun catatan gempa yang digunakan adalah gempa EL-Centro 1940.

Hasil analisis menunjukkan bahwa perilaku dinamis struktur yang meliputi waktu getar alami struktur, *base shear* (gaya geser dasar) dan perpindahan horizontal pada kelima model struktur memiliki nilai yang tidak jauh berbeda. Waktu getar alami struktur mengalami peningkatan yang sangat kecil berkisar 0,28 % hingga 0,44 % pada denah dengan jari-jari kelengkungan yang lebih kecil. Sedangkan untuk *base shear* terjadi penurunan berkisar 0.74 % hingga 0.975 % kearah X dan kearah Y berkisar 0,1% pada denah dengan jari-jari kelengkungan yang semakin kecil.

