

BAB I PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki intensitas gempa yang sangat besar. Hal ini terjadi dikarenakan Negara Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu lempeng tektonik Hindia-Australia, lempeng Pasifik dan lempeng Eurasia. Pertemuan ketiga lempeng ini menyebabkan Indonesia sangat berpotensi mengalami gempa. Seperti beberapa tahun terakhir, Indonesia telah dilanda gempa besar seperti di Aceh, Nias, Yogyakarta, Kepulauan Mentawai, dan lain sebagainya.

Pada peristiwa tersebut, banyak bangunan yang mengalami kerusakan fatal dengan berbagai macam pola keruntuhan. Hal ini menegaskan pentingnya tinjauan beban gempa rencana dalam perencanaan desain struktur sebagai antisipasi apabila terjadi gempa, dengan begitu struktur bangunan mampu menerima gaya gempa pada level tertentu tanpa terjadi kerusakan yang signifikan pada strukturnya atau apabila struktur bangunan harus mengalami keruntuhan (disebabkan beban gempa melebihi beban gempa rencana).

Percepatan gempa (g) di Indonesia pada dasarnya berbeda-beda di setiap wilayahnya. Menurut data dari “Peta Percepatan Gempa Tahun 2017” yang dikeluarkan oleh Kementerian PUPR Republik Indonesia tahun 2017 wilayah Kota Medan berada pada zona kuning dengan percepatan 0.4 - 0.5 g , sedangkan wilayah Kota Gunungsitoli berada pada zona coklat dengan percepatan 1.5 – 2.0 g , percepatan gempa ini dihitung berdasarkan percepatan puncak di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 1% dalam periode 100 tahun

Dengan berlandaskan pada peta percepatan gempa Tahun 2017 ini maka tentu saja perencanaan konstruksi tahan gempa khususnya bangunan berlantai banyak berbeda-beda di setiap wilayahnya. Perencanaan pondasi, balok, hingga kolom merupakan hal yang sangat penting untuk diperhatikan, dengan

perencanaan struktur tahan gempa yang tepat pada masing-masing zona tentu dapat meminimalisir keruntuhan bangunan akibat gempa.

Kolom merupakan salah satu komponen yang sangat vital dalam konstruksi. Kolom merupakan struktur yang berfungsi untuk meneruskan seluruh beban konstruksi mulai dari beban bangunan itu sendiri, beban hidup, beban angin, hingga beban gempa ke pondasi dibawahnya dan kemudian diteruskan pondasi ke dalam tanah. Oleh karena itu kolom memerlukan perhatian khusus dalam perencanaannya, baik itu dari segi dimensi, mutu bahan penyusunnya, jarak antara masing-masing kolom, hingga beban-beban yang akan dipikulnya khususnya beban gempa.

1.2.Rumusan Masalah

Permasalahan utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana hubungan jarak kolom dengan wilayah gempa di daerah kota Medan dan Kota Gunungsitoli.

1.3.Batasan Masalah

Agar permasalahan yang ditinjau tidak meluas, maka peneliti memberi batasan masalah sebagai berikut:

- a. Bangunan yang ditinjau adalah bangunan beton bertulang.
- b. Bangunan yang diteliti adalah bangunan bertingkat berlantai 4 ditambah 1 lantai atap.
- c. Desain bangunan yang digunakan untuk perkantoran.
- d. Bentuk struktur bangunan dan data ukuran komponen-komponen struktur utama seperti balok, kolom dan pelat lantai ditentukan oleh peneliti.
- e. Ukuran detail komponen struktur hanya dibuat satu jenis.
- f. Analisis tidak memperhitungkan pondasi.
- g. Pengujian dilakukan dengan membuat 3 jenis denah dengan jarak kolom yang berbeda dan 2 wilayah berbeda yaitu kota Medan dan kota Gunungsitoli

- h. Jarak kolom yang ditinjau hanya pada arah memanjangnya saja yaitu 4 meter, 5 meter, dan 6 meter.
- i. Beban-beban yang diinput meliputi:
 - 1. Beban mati/berat bangunan itu sendiri (*dead load*)
 - 2. Beban hidup (*live load*)
 - 3. Beban gempa (*earthquake*)
- j. Mutu bahan: beton $f'c$ 25 MPa dan baja f_y 350 MPa
- k. Analisis zonasi gaya gempa berdasarkan pada peta zonasi gempa yang dikeluarkan oleh Kementrian PUPR tahun 2017.
- l. Analisis gaya gempa yang digunakan adalah analisis gempa dinamis dengan memperhatikan SNI 1726 : 2019.
- m. Analisis dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak komputer.

1.4.Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besaran perubahan deformasi terhadap jarak kolom yang berbeda pada suatu konstruksi dengan pembagian zonasi wilayah gempa di Kota Medan dan di Kota Gunungsitoli.

1.5.Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

- a. Untuk mengetahui hubungan jarak kolom dengan wilayah gempa di dua wilayah yang ditinjau yaitu Kota Medan dan Kota Gunugsitoli khususnya pada bangunan bertingkat.
- b. Menjadi bahan pertimbangan dalam perencanaan bangunan bertingkat khususnya pada dua lokasi yang ditinjau yaitu Kota Medan dan Kota Gunungsitoli.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1.Umum

Struktur pada suatu konstruksi bangunan dapat diartikan sebagai sarana untuk menyalurkan beban yang diterima oleh bangunan itu sendiri kedalam tanah. Beban-beban yang dimaksud dapat berupa beban akibat berat bangunan, beban akibat penggunaan bangunan, beban akibat gempa, beban akibat hujan, hingga beban akibat angin. Semua beban-beban tersebut harus dapat diperhitungkan dengan teliti bersamaan dengan struktur pemikulnya agar bangunan tidak mengalami kegagalan (*collapsed*). Pada dasarnya perancangan suatu struktur selalu berkaitan dengan kata “ukuran, skala, bentuk, dan proporsi”.

Untuk memahami lebih dalam tentang struktur itu sendiri maka harus diketahui terlebih dahulu apa saja komponen-komponen struktur yang dimaksud. Komponen struktur terdiri dari “kolom, balok, dan pelat”, sehingga dengan demikian struktur dapat didefinisikan sebagai suatu entitas fisik atau suatu organisasi unsur-unsur pokok pemikul beban bangunan.

Defenisi diatas menjelaskan bahwa struktur adalah suatu objek fisik yang nyata dan bukan gagasan abstrak yang tidak menarik untuk diteliti, dengan demikian penanganan pada struktur harus berdasarkan dengan prosedur yang ditetapkan dalam SNI sesuai dengan peruntukan bangunannya terutama pada wilayah rawan bencana alam seperti Indonesia.

Gempa merupakan bencana alam yang tidak dapat dihindari, wilayah Indonesia yang terletak diatas lempeng tektonik semakin meningkatkan resiko akan bencana alam tersebut. Oleh karena itu perancangan konstruksi di Indonesia pun harus memenuhi syarat-syarat bangunan tahan gempa sesuai dengan pedoman SNI 1726:2019 tentang “*Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*” yang diterbitkan oleh Kementerian PUPR Republik Indonesia, sebagai salah satu acuan perencanaan bangunan tahan gempa di
Indonesia.

Melihat pada pemetaan wilayah gempa di Indonesia baik pada SNI 1726:2019 sebagai revisi terbaru saat ini, wilayah Indonesia memiliki zona gempa dan tingkat resiko yang berbeda. Misalnya saja wilayah Kota Medan yang masuk dalam kategori wilayah gempa resiko rendah berbeda halnya dengan wilayah Kota Gunungsitoli yang masuk dalam kategori wilayah gempa resiko tinggi.

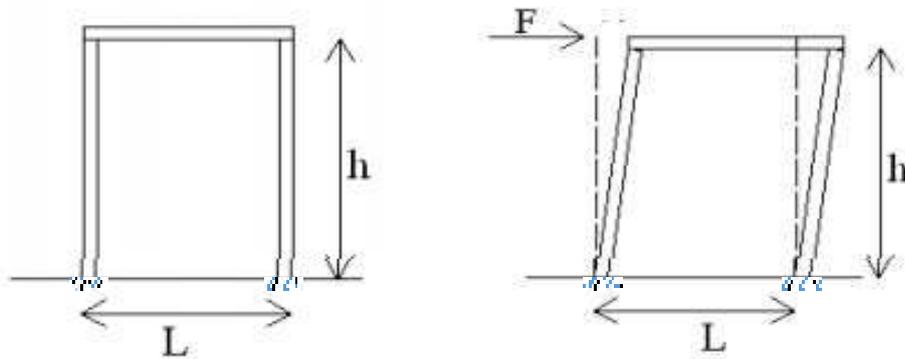
Pada dasarnya dalam perancangan struktur tahan gempa, ukuran merupakan salah satu hal yang cukup menarik untuk dibahas baik itu dari segi dimensi balok dan kolom maupun dari segi dimensi tinggi dan jarak antara elemen kolom. Suatu bangunan yang memiliki jarak antar kolom yang lumayan jauh tentu saja akan membuat bangunan terlihat lebih luas, berbanding terbalik dengan bangunan yang memiliki jarak kolom yang terlalu rapat akan membuat bangunan terasa lebih sempit. Namun, kembali lagi pada perancangan sebelumnya dimana suatu struktur harus direncanakan sesuai dengan fungsi bangunan dan tentu saja harus berpedoman pada peraturan-peraturan bangunan tahan gempa yang telah diatur oleh pemerintah.

Umumnya bangunan yang sangat rawan mengalami kegagalan akibat gaya gempa adalah bangunan-bangunan bertingkat tinggi, dimana hal ini juga berhubungan dengan deformasi (*displacement*) dari bangunan itu sendiri. Semakin tinggi suatu bangunan makanya defleksi puncaknya pun akan semakin besar. Oleh karena itu harus dilakukan perkuatan pada struktur bangunan baik dari segi dimensi maupun penambahan struktur pengaku tambahan pada struktur bangunan yang mengalami deformasi.

Daniel L. Schodek (1999) menyatakan bahwa pada struktur stabil apabila dikenakan beban, struktur tersebut akan mengalami perubahan bentuk (*deformasi*) yang lebih kecil dibandingkan struktur yang tidak stabil. Hal ini disebabkan karena pada struktur yang stabil memiliki kekuatan dan kestabilan dalam menahan beban.

Melihat dari definisi di atas maka stabilitas merupakan hal sulit dalam perencanaan struktur yang merupakan gabungan dari elemen-elemen. Kestabilan suatu bangunan dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.1.

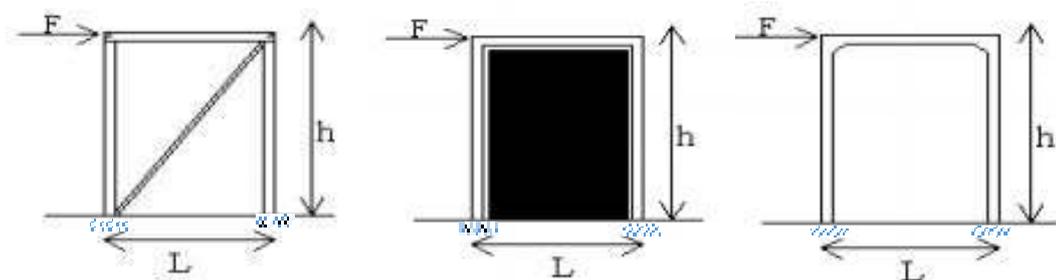
Gambar 2. 1.(a). Susunan elemen kolom dan balok,
 (b).Ketidakstabilan terhadap beban horizontal.



Sumber: Struktur by Daniel L. Schodek (1999)

Adapun beberapa metode yang dapat dilakukan untuk menjamin kestabilan pada suatu struktur dapat dengan menggunakan metode penopang diagonal (bracing), metode bidang geser (shearwall) dan dengan metode titik hubung kaku seperti pada Gambar 2.2.

Gambar 2. 2.(a). Penggunaan Bracing,
 (b). Penggunaan shearwall,
 (c). Penggunaan titik hubung kaku



Sumber: Struktur by Daniel L. Schodek (1999)

Pada Gambar 2.1(a) struktur stabil karena struktur belum mendapatkan gaya dari luar, apabila suatu struktur dikenakan gaya horisontal maka akan terjadi deformasi seperti yang terlihat pada Gambar 2.1(b). Hal ini disebabkan karena struktur tidak mempunyai kapasitas yang cukup untuk menahan gaya horisontal dan struktur tidak mempunyai kemampuan untuk mengembalikan bentuk struktur ke bentuk semula apabila beban horisontal dihilangkan sehingga akan terjadi simpangan horisontal yang berlebihan yang dapat menyebabkan keruntuhan.

Menurut Daniel L. Schodek (1999), terdapat beberapa cara untuk menjamin kestabilan struktur salah satunya seperti pada Gambar 2.2(a). Cara ini dilakukan dengan menambahkan elemen struktur diagonal pada struktur, sehingga struktur tidak mengalami deformasi menjadi jajaran genjang seperti pada Gambar 2.1(b). Hal ini disebabkan karena dengan menambahkan elemen struktur diagonal gaya-gaya yang dikenakan pada struktur akan disebarkan keseluruh bagian termasuk ke elemen diagonal, gaya-gaya yang diterima masing-masing struktur akan berkurang sehingga simpangan yang dihasilkan lebih kecil, sama halnya pada cara yang lain yang disebut diatas dimana penggunaannya sama-sama mengurangi deformasi pada struktur.

2.2. Elemen - elemen Struktur

2.2.1. Kolom

Kolom-kolom di sebuah konstruksi berfungsi meneruskan beban- beban dari balok-balok dan plat-plat ke bawah sampai pondasi. Karenanya, kolom-kolom merupakan bagian konstruksi tekan, meskipun mungkin harus pula menahan gaya-gaya lentur akibat kontinuitas dari konstruksi. Perencanaan kolom memperhatikan batas tegangan (kekuatan) dan kekakuan untuk menghindari deformasi berlebihan dan tekuk. Daktail tulangan yang benar dan penutup beton yang cukup adalah penting. Perbandingan b/h dari kolom tidak boleh kurang dari 0.4.

Syarat menentukan dimensi kolom:

$$A_g = \frac{3 * N_u}{0.85 * f_c'} \quad (2.1)$$

Dimana:

$N_u = W_u$ = Beban ultimate yang dipikul kolom (kg)

A_{gross} = Luas kolom yang dibutuhkan (cm^2)

f_c' = Mutu beton (Mpa)

2.2.2. Balok

Perancangan balok beton bertulang bertujuan untuk menghitung tulangan dan membuat detail-detail konstruksi untuk menahan momen-momen lentur ultimate, gaya-gaya lintang dan momen-momen puntir dengan cukup kuat. Kekuatan suatu balok lebih banyak dipengaruhi oleh tinggi daripada lebarnya. Lebar yang sesuai dapat sepertiga sampai setengah dari tinggi, tetapi mungkin jauh lebih kecil untuk suatu balok tinggi, dan mungkin juga dipakai balok-balok yang lebih lebar dan rendah untuk mempertahankan tinggiruangan. Diusahakan agar dimensi balok jangan terlalu sempit karena akan timbul kerusakan dalam menyediakan selimut beton dan jarak tulangan yang memadai. Menurut SNI 2847-2019, tinggi minimum balok dapat ditentukan dengan:

Perlekatan sederhana

$$H = L_n/16 \quad (2.2)$$

Menerus satu sisi

$$H = L_n/18.5 \quad (2.3)$$

Menerus dua sisi

$$H = L_n/21 \quad (2.4)$$

Kantilever

$$H = L_n/8 \quad (2.5)$$

Dan lebar minimum balok di tentukan dengan :

$$B = (1/2)*H \quad (2.6)$$

2.2.3. Pelat

Plat adalah struktur yang berbentuk bidang datar (tidak melengkung), plat dapat dimodelkan sebagai plat satu arah maupun dua arah. Plat dapat ditumpu di seluruh tepinya, atau hanya pada titik-titik tertentu (misalnya oleh kolom-kolom), atau campuran antara tumpuan menerus dan titik. Kondisi tumpuan dapat sederhana atau jepit. Untuk merencanakan plat beton bertulang yang perlu dipertimbangkan tidak hanya pembebanan, tetapi juga ukuran dan syarat-syarat tumpuan pada tepi. Syarat yang harus dipenuhi bukan hanya kekuatan tapi juga kekakuannya. Plat selain sebagai penahan beban berlaku juga sebagai bagian pengaku lateral struktur

Syarat untuk menentukan tebal minimum pelat adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 1. Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Tanpa Balok Interior (mm)

fy (MPa)	Tanpa drop panel			Tanpa drop panel		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi		Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi	
280	ℓn/33	ℓn/36	ℓn/36	ℓn/36	ℓn/40	ℓn/40
420	ℓn/30	ℓn/33	ℓn/33	ℓn/33	ℓn/36	ℓn/36
520	ℓn/28	ℓn/31	ℓn/31	ℓn/31	ℓn/34	ℓn/34

Sumber: SNI 2847-2019

2.3. Analisis Gaya

2.3.1. Gaya Akibat Beban Lateral

a. Beban Angin

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh terjadinya selisih tekanan udara. Daniel L. Schodek (1999) menjelaskan, struktur yang berada pada lintasan angin akan menyebabkan angin berbelok atau dapat berhenti. Hal ini mengakibatkan energi kinetik angin berubah bentuk menjadi energi potensial berupa tekanan atau hisapan pada struktur. Besar tekanan atau hisapan yang diakibatkan oleh angin bergantung pada banyak faktor. Salah satu faktor yang mempengaruhi adalah kecepatan angin.

b. Beban Gempa

Gaya gempa terjadi karena pengaruh getaran yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba. Getaran tersebut menciptakan gelombang seismik dan menimbulkan kerusakan pada bangunan di atasnya seperti rumah tinggal dan bangunan fasilitas lainnya. Jenis gempa bumi ini adalah gempa tektonik dan beresiko memunculkan gaya yang tidak beraturan/acak kesegala arah pada bangunan. Gaya yang dihasilkan adalah gaya dinamik yang disebut Gaya gempa. Gaya gempa tersebut berbanding lurus dengan massa bangunan dan percepatan gempa di permukaan tanah dimana bangunan itu berada. Hukum Newton merumuskan bahwa besar gaya gempa adalah $F = m \cdot a$ (m = massa bangunan, a = percepatan tanah yang terjadi). Pada rumus ini ditunjukkan ada dua parameter yang menimbulkan perubahan pada gaya F yaitu massa bangunan dan percepatan tanah. Massa bangunan dapat kita kendalikan melalui berbagai pilihan material yang sesuai sedangkan percepatan gempa pada permukaan tanah tidak bisa dikendalikan. Konsep ini adalah dasar utama untuk mengendalikan besar gaya gempa terhadap bangunan.

Struktur bangunan akan mengalami deformasi sesuai dengan arah gaya gempa yang terjadi dan besarnya adalah tergantung pada kekakuan strukturnya. Umumnya ada empat jenis deformasi pada struktur bangunan akibat gaya horizontal yaitu:

Deformasi Lentur, Terjadi pada struktur bangunan yang mempunyai massa yang terbagi rata yaitu bangunan dengan komposisi dinding masif dan solid seperti dinding geser (shear wall), dinding pemikul gaya vertikal (bearing wall). Pada dasarnya deformasi terjadi pada bangunan yang dipenuhi oleh elemen-elemen dinding yang struktural seperti pada sistem core, dimana hampir seluruh dinding core diisi oleh elemen masif. Akibat langsung adalah adanya bagian sisi bangunan yang mengalami gaya tekan dan dibagian sisi lainnya mengalami gaya tarik. Pada kondisi ini bangunan terlihat “melentur”.

Deformasi Geser, Terjadi akibat getaran horizontal kolom-kolom bangunan bertingkat banyak disertai dengan sistem plat lantai yang kaku. Umumnya terjadi pada sistem struktur rangka dimana plat-plat lantai kaku (sebagai diafragma) sedangkan sistem rangka, yaitu pertemuan elemen rangka dan sambungan-sambungan rangka kurang kaku.

Deformasi Torsi, Terjadi akibat “twisting” dari massa bangunan yang mempunyai kekakuan yang berbeda dalam satuan sistem struktur misalnya bangunan yang banyak perbedaan distribusi kekakuan elemen strukturnya. Bangunan tidak kontinu ke arah vertical mengakibatkan Setiap elemen struktur bangunan mempunyai respon yang berbeda.

Deformasi Guling “Over Turning”, Terjadi efek guling akibat bagian dasar bangunan jauh lebih kaku dari bagian di atasnya.

Contohnya pada bangunan dengan sistem balok kantilever yang kuat dan sangat kaku; pada bagian bawah sangat kokoh, sementara bagian bangunan yang lebih tinggi di atasnya tidak menyatu secara utuh dengan struktur bawahnya.

Walaupun setiap bangunan mengalami berbagai deformasi akibat gaya gempa tetapi umumnya hanya satu jenis deformasi yang dominan, Dalam perencanaan sistem struktur khususnya bangunan tinggi, kekakuan dan kekuatan pada bangunan harus diusahakan selalu menerus dengan baik atau sistem struktur harus kontinu, pada arah elemen vertikal dan elemen horizontal. Pengaruh gaya gempa vertikal dapat diantisipasi dengan meningkatkan kekuatan sistem struktur kolom sebagai elemen struktur yang direncanakan untuk memikul gaya-gaya normal sehingga tidak berpengaruh besar terhadap deformasi struktur bangunan yang akan terjadi.

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Beban gempa nominal, yang nilainya ditentukan oleh 3 hal, yaitu oleh besarnya probabilitas beban itu dilampaui dalam kurun waktu tertentu, oleh tingkat daktilitas struktur yang mengalaminya dan oleh kekuatan lebih yang terkandung di dalam struktur tersebut.

2.3.2. Gaya Akibat Beban Gravitasi

a. Beban Mati

Beban mati merupakan beban yang berasal dari berat sendiri yang bersifat tetap, termasuk dinding dan sekat pemisah, kolom, balok, lantai, atap, penyelesaian, mesin dan peralatan yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung, yang nilai seluruhnya adalah sedemikian rupa sehingga probabilitas untuk dilampauinya dalam kurun waktu tertentu terbatas pada suatu persentase tertentu. Pada umumnya probabilitas beban tersebut untuk dilampaui adalah dalam kurun waktu umur gedung 50 tahun dan ditetapkan sebesar 10%. Namun demikian, beban mati rencana yang

biasa di tetapkan dalam standar-standar pembebanan strktur gedung dapat dianggap sebagai beban mati nominal. (SNI 1726-2019).

b. Beban Hidup

Beban hidup nominal yang bekerja pada struktur gedung merupakan beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan gedung tersebut, baik akibat beban yang berasal dari orang maupun dari barang yang berpindah atau mesin dan peralatan serta komponen yang tidak merupakan bagian yang tetap dari gedung, yang nilai seluruhnya adalah sedemikian rupa sehingga probabilitas beban tersebut untuk dilampaui adalah dalam kurun waktu umur gedung 50 tahun dan ditetapkan sebesar 10%. Namun demikian, beban hidup rencana yang biasa ditetapkan dalam standar pembebanan struktur gedung dapat dianggap sebagai beban hidup nominal. (SNI 1726-2019).

2.4.Perancangan Ketahanan Gempa

Perencanaan ketahanan gempa mengacu pada SNI 1726-2019 yang dikeluarkan oleh Kementrian PUPR Mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung.

2.4.1. Gempa Rencana dan Kategori Gedung

Sebagai gempa rencana dalam SNI 1726-2019 adalah gempa dengan periode ulang 2500 tahunan, atau gempa dengan kemungkinan terlampaui selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%. Istilah gempa 2500 tahunan bukan di artikan sebagai kejadian gempa yang terjadi 1 kali setiap 2500 tahun, namun lebih sebagai gambaran tentang probabilitas suatu percepatan yang memiliki kemungkinan 1/2500 untuk terjadi setiap tahunnya.

Untuk berbagai kategori gedung, bergantung pada probabilitas resiko terjadinya keruntuhan struktur gedung selama umur gedung dan umur gedung tersebut yang diharapkan, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu Faktor Keutamaan I_e . Tabel 2.2.

Tabel 2. 2. Kategori resiko bangunan

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi 	III

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko 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 di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan - bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur 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 keadaan darurat . <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	<p>IV</p>

Sumber: SNI 1726-2019

Berdasarkan pada tabel diatas maka dapat ditentukan faktor keutamaan gempa I_e berdasarkan pada tabel 2.3 berikut.

Tabel 2. 3. Faktor keutamaan gempa (I_e)

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

Sumber: SNI 1726-2019

2.4.2. Struktur Gedung Beraturan dan tidak Beraturan

Struktur gedung ditetapkan sebagai struktur gedung beraturan, apabila memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- a. Tinggi struktur gedung diukur dari taraf penjepitan lateral tidak lebih dari 10 tingkat atau 40 m.
- b. Denah struktur gedung adalah persegi panjang tanpa tonjolan dan walaupun mempunyai tonjolan, panjang tonjolan tersebut tidak lebih dari 25% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah tonjolan tersebut.
- c. Denah struktur gedung tidak menunjukkan coakan sudut dan walaupun mempunyai coakan sudut, panjang sisi coakan tersebut tidak lebih dari 15% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah sisi coakan tersebut.
- d. Sistem struktur gedung terbentuk oleh subsistem-subsistem penahan beban lateral yang arahnya saling tegak lurus dan sejajar dengan sumbu-sumbu utama ortogonal denah struktur gedung secara keseluruhan.
- e. Sistem struktur gedung tidak menunjukkan loncatan bidang muka dan walaupun mempunyai loncatan bidang muka, ukuran dari denah struktur bagian gedung yang menjulang dalam masing-masing arah, tidak kurang dari 75% ukuran terbesar denah struktur bagian gedung sebelah bawahnya. Dalam hal ini, struktur rumah atap yang tingginya tidak lebih

dari 2 tingkat tidak perlu dianggap menyebabkan adanya loncatan bidang muka.

- f. Sistem struktur gedung memiliki kekakuan lateral yang beraturan, tanpa adanya tingkat lunak. Yang dimaksud dengan tingkat lunak adalah suatu tingkat, dengan kekakuan lateralnya adalah kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan lateral rata-rata 3 tingkat di atasnya. Dalam hal ini, yang dimaksud dengan kekakuan lateral suatu tingkat adalah gaya geser yang bila bekerja di tingkat itu menyebabkan satu satuan simpangan antar-tingkat.
- g. Sistem struktur gedung memiliki berat lantai tingkat yang beraturan, artinya setiap lantai tingkat memiliki berat yang tidak lebih dari 150% berat lantai tingkat di atasnya atau di bawahnya. Berat atap atau rumah atap tidak perlu memenuhi ketentuan ini.
- h. Sistem struktur gedung memiliki unsur-unsur vertikal dari sistem penahan beban lateral yang menerus, tanpa perpindahan titik beratnya, kecuali bila perpindahan tersebut tidak lebih dari setengah ukuran unsur dalam arah perpindahan tersebut.
- i. Sistem struktur gedung memiliki lantai tingkat yang menerus, tanpa lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50% luas seluruh lantai tingkat. Kalaupun ada lantai tingkat dengan lubang atau bukaan seperti itu, jumlahnya tidak boleh lebih dari 20% jumlah lantai tingkat seluruhnya.

Untuk struktur gedung beraturan, pengaruh gempa rencana dapat ditinjau sebagai pengaruh beban gempa statik ekuivalen, sehingga menurut standar ini analisisnya dapat dilakukan berdasarkan analisis statik ekuivalen.

Struktur gedung yang tidak memenuhi ketentuan tersebut diatas ditetapkan sebagai struktur gedung tidak beraturan. Untuk struktur gedung tidak beraturan, pengaruh gempa rencana harus ditinjau sebagai pengaruh pembebanan gempa

dinamik, sehingga analisisnya harus dilakukan berdasarkan analisis respons dinamik.

2.4.3. Faktor Reduksi Maksimum (R_m)

Faktor reduksi (R_m) digunakan untuk menentukan sistem struktur untuk mengakomodasi beban gempa. Penentuan sistem struktur didasarkan pada hasilhasil pengujian kualifikasi yang menunjukkan rotasi inelastis. Hasil-hasil pengujian kualifikasi didapat terhadap sekurang-kurangnya dari dua pengujian siklik dan diijinkan berdasarkan salah satu dari dua berikut ini :

- a) Laporan penelitian atau laporan pengujian yang serupa dengan yang sedang direncanakan untuk suatu proyek.
- b) Pengujian yang dilakukan khusus untuk suatu proyek dan cukup mewakili ukuran-ukuran komponen struktur, kekuatan bahan, konfigurasi sambungan, dan urutan-urutan pelaksanaan pada proyek yang sedang direncanakan.

Faktor reduksi maksimum diatur pada Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 1729-2019) dan dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2. 4.Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem pemikul Gaya Seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, b	Faktor pembesaran defleksi, Cd^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	5,5	TB	TB	TB	TB	TB

Sistem pemikul Gaya Seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, b	Faktor pembesaran defleksi, Cd^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								
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5,5	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4,5	3	4	TB	TB	10	TI	TI
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3,5	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI

Sistem pemikul Gaya Seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, b	Faktor pembesaran defleksi, Cd^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								
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5,5	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI

Sistem pemikul Gaya Seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, b	Faktor pembesaran defleksi, Cd^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								
12.Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3,5	3	3,5	10	10	10	10	10

Sumber: SNI 1726-2019

2.4.4. Wilayah Gempa dan Respon Spectrum

2.4.4.1.Peta- peta gerak tanah seismik dan koefisien resiko

1. Peta pergerakan tanah seismik

Berdasarkan SNI 1726-2019 menjelaskan peta-peta gerak tanah seismik dan koefisien risiko dari gempa maksimum yang dipertimbangkan (Maximum Considered Earthquake, MCE) yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 sampai Gambar 2.7, yang diperlukan untuk menerapkan ketentuan-ketentuan beban gempa dalam standar ini. Gambar 2.8 menunjukkan peta transisi periode panjang TL yang dapat digunakan dalam aturan seismik terkait.

Gambar 2.3 dan Gambar 2.4 menunjukkan peta gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) parameter-parameter gerak tanah S_s dan S_1 . S_s adalah parameter nilai percepatan respons spektral gempa MCER risiko-tertarget pada periode pendek, teredam 5 %, sebagaimana yang dijelaskan dalam 0 adalah parameter nilai percepatan respons spektral gempa

MCER risiko-tertarget pada periode 1 detik, teredam 5 %, sebagaimana yang dijelaskan dalam 0.

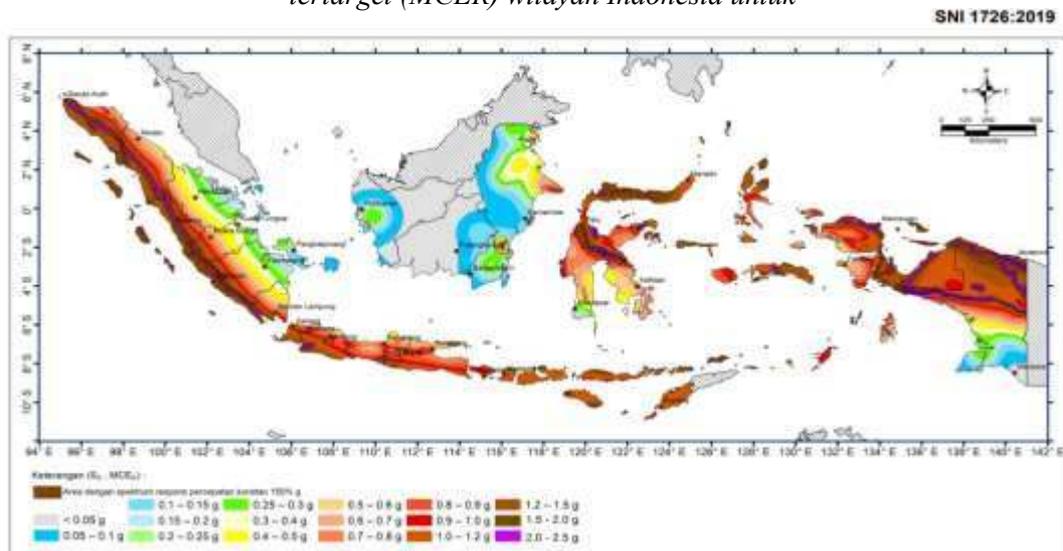
Gambar 2.6 dan Gambar 2.7 menunjukkan nilai-nilai CRS dan CR1. CRS adalah koefisien risiko terpetakan untuk spektrum respons periode pendek yang digunakan dalam 0. CR1 adalah koefisien risiko terpetakan untuk spektrum respons periode 1 detik yang digunakan dalam 0.

Pada pasal ini juga diberikan Gambar 2.5, yang menyajikan gempa maksimum yang dipertimbangkan rata-rata geometrik (MCEG), percepatan tanah puncak, dalam g.

Nilai-nilai kontur percepatan puncak dijelaskan sebagai berikut:

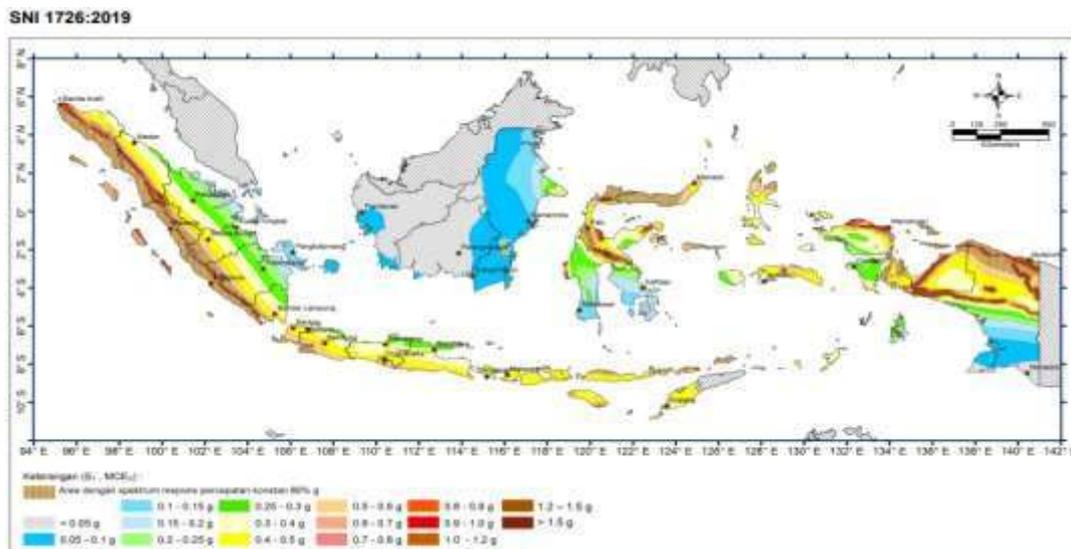
- a. Target risiko pada struktur saat mengalami keruntuhan didefinisikan sebanding dengan 1 % kemungkinan keruntuhan bangunan dalam 50 tahun, berdasarkan kekuatan umum struktur. Dalam kaitan ini, MCER risiko-tertarget didefinisikan sebagai nilai spektral S_s dan S_1 MCE 2 % kemungkinan terlampaui dalam 50 tahun dikalikan dengan koefisien risiko, masing-masing CRS dan CR1 (sesuai Gambar 18 dan Gambar 19, yang dalam ketentuan tata cara ini nilai-nilai tersebut bervariasi antara 0,85 sampai 1,15)
- b. Faktor pengali 1,1 pada periode 0,2 detik dan faktor pengali 1,3 pada periode 1 detik diterapkan terhadap nilai rata-rata geometrik hasil analisis bahaya (hazard) gempa untuk memperhitungkan arah percepatan maksimum;
- c. Batas atas deterministik digunakan pada daerah dekat sesar aktif dengan mengambil faktor pengali 1,8 kali dari nilai tengah percepatan puncak hasil analisis bahaya gempa deterministik (faktor 1,8 kali nilai median digunakan untuk merepresentasikan respons 84th percentile), dan nilai spektral tidak kurang 1,5g untuk periode 0,2 detik dan tidak kurang dari 0,6g untuk periode 1 detik.

Gambar 2. 3. Parameter gerak tanah S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) wilayah Indonesia untuk



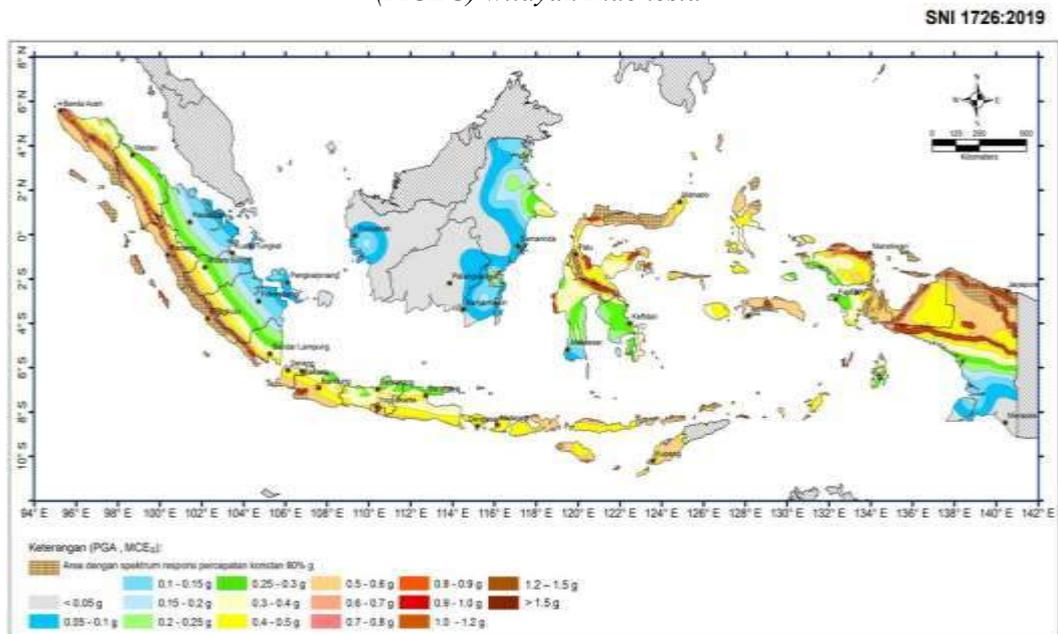
Sumber: SNI 1726-2019

Gambar 2. 4. Parameter gerak tanah, S_1 , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) wilayah Indonesia untuk



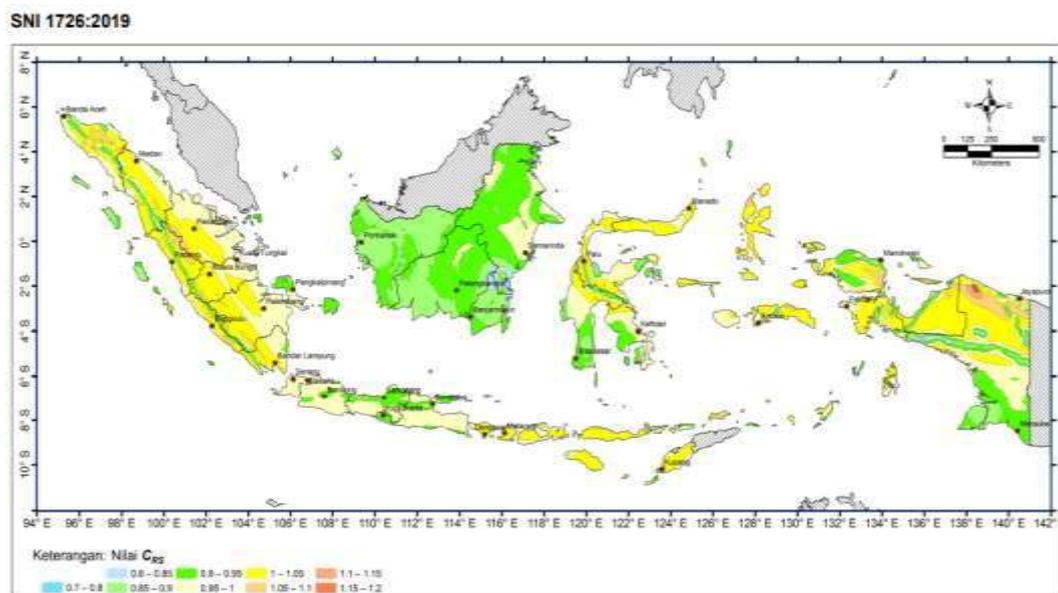
Sumber: SNI 1726-2019

Gambar 2. 5. PGA. Gempa maksimum yang dipertimbangkan rata-rata geometrik (MCEG) wilayah Indonesia



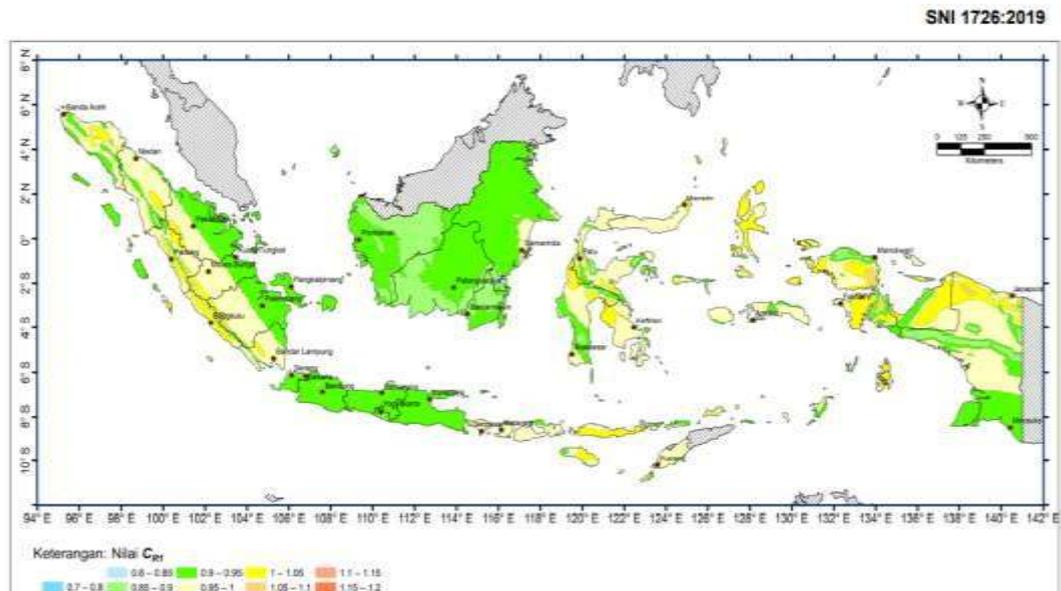
Sumber: SNI 1726-2019

Gambar 2. 6. CRS, Koefisien risiko terpetakan, periode spektrum respons 0,2-detik



Sumber: SNI 1726-2019

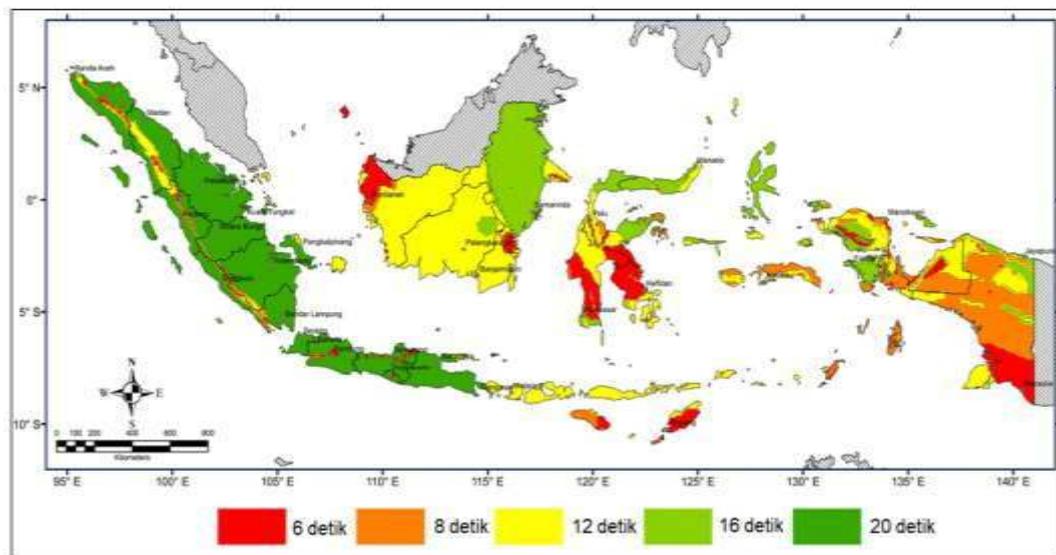
Gambar 2. 7. CRI, Koefisien risiko terpetakan, periode respons spektral 1 detik



Sumber: SNI 1726-2019

Gambar 2. 8. Peta transisi periode panjang, TL, wilayah Indonesia

SNI 1726:2019



Sumber: SNI 1726-2019

2. koefisien resiko atau koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER)

Koefisien resiko atau koefisien-koefisien situs diperoleh berdasarkan faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (SMS) dan periode 1 detik (SM1) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

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

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

Keterangan:

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek;

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1,0 detik.

Dengan koefisien situs F_a dan F_v mengikuti Tabel 2.5 dan Tabel 2.6. Jika kelas situs SE digunakan sebagai kelas situs berdasarkan 0, maka nilai F_a tidak boleh kurang dari 1,2. Jika digunakan prosedur desain sesuai dengan pasal 0, maka nilai F_a harus ditentukan sesuai 0 serta nilai F_v , SMS, dan SM1 tidak perlu ditentukan.

Tabel 2. 5.Koefisien Situs, Fa

Koefisien situs, Fa							
Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik, Ss						
	Ss ≤ 0,25	Ss = 0,5	Ss = 0,75	Ss = 0,9	Ss = 1,0	Ss = 1,25	Ss ≥ 1,5
SA	0.8	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	0.9
SC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
SD	1.6	1.4	1.2	0.14	1.1	1	1
SE	2.4	1.7	1.3	1.18	1.1	0.9	0.8
SF	SS						

Sumber: SNI 1726-2019

Tabel 2. 6.Koefisien Situs, Fv

Koefisien situs, Fv						
Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, S1					
	S1 ≤ 0,1	S1 = 0,2	S1 = 0,3	S1 = 0,4	S1 = 0,5	S1 ≥ 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	1.9	1.8	1.7
SE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2
SF	SS					

Sumber: SNI 1726-2019

3. Parameter percepatan spectral desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, SDS dan pada periode 1 detik, SD1, harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

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

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

4. Spectrum respon desain

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 2.9 dan mengikuti ketentuan sebagai berikut:

- a. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan berikut:

$$S_a = S_{DS} (0.4 + 0.6 T/T_0) \quad (2.11)$$

- b. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} :
- c. Untuk periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = S_{D1}/T \quad (2.12)$$

- d. Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = S_{D1} T_L / T^2 \quad (2.13)$$

Keterangan:

SDS = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek;

SD1 = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik;

T = periode getar fundamental struktur.

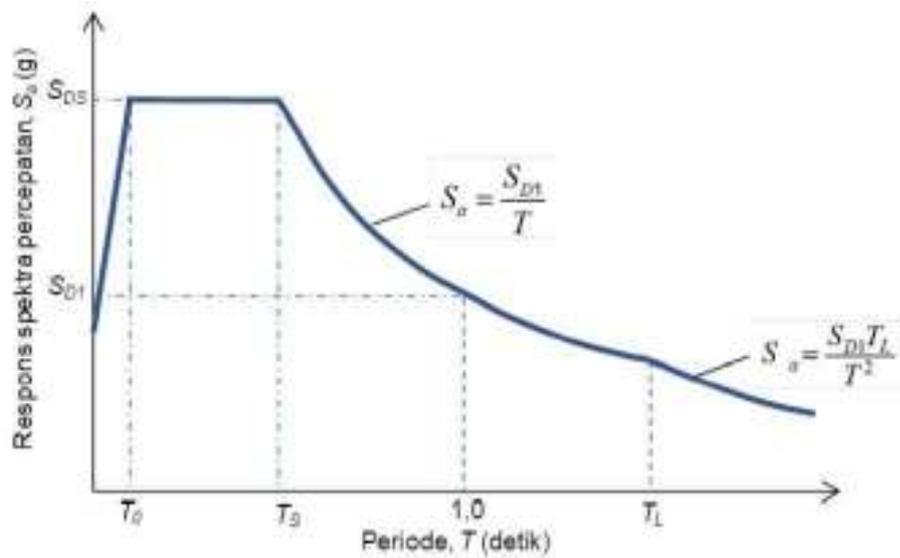
Semua persamaan diatas harus mengacu pada gambar 2.9 berikut:

$$T_0 = 0.2 \text{ SD1/SDS} \tag{2.14}$$

$$T_S = \text{SD1/SDS} \tag{2.15}$$

TL = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 yang nilainya diambil dari Gambar 2.8

Gambar 2. 9. Spectrum respons desain



Sumber: SNI 1726-2019

5. Perhitungan koefisien respon seismik

Koefisien respons seismik, C_s , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut ini:

$$C_s = S_{DS}/(R/I_e) \quad (2.16)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode pendek seperti ditentukan dalam 0 atau 0

R = koefisien modifikasi respons dalam Tabel 12

I_e = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 0.

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan 2.16 tidak perlu melebihi berikut ini:

Untuk $T < T_L$

$$C_s = S_{D1}/T(R/I_e) \quad (2.17)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = S_{D1}T_L/T^2(R/I_e) \quad (2.18)$$

C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = 0.044 S_{DS}I_e > 0.01 \quad (2.19)$$

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:

$$C_s = 0.5S_1/(R/I_e) \quad (2.20)$$

Keterangan:

di mana I_e dan R sebagaimana didefinisikan dalam 0, dan

S_{D1} = parameter percepatan respons spektral desain pada periode sebesar 1,0 detik, seperti yang ditentukan dalam 0

T = periode fundamental struktur (detik) yang ditentukan 0

S₁ = parameter percepatan respons spektral maksimum yang dipetakan yang ditentukan sesuai 0

2.4.5. Waktu Getar Alami Fundamental

Berdasarkan pada SNI 1726-2019 Periode fundamental struktur, T, dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur, T, tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dari Tabel 2.5 dan periode fundamental pendekatan, T_a, yang ditentukan sesuai 0. Sebagai alternatif dalam melakukan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur, T, diizinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan, T_a, yang dihitung sesuai 0. Tabel 2.7.

Tabel 2. 7.Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S _{D1}	Koefisien C _u
0,4	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
0,1	1,7

Sumber: SNI 1726-2019

2.4.5.1. Periode Pendekatan Fundamental

Periode fundamental dapat dihitung dengan persamaan pendekatan (T_a) berikut (dalam detik):

Persamaan 2.21.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.21)$$

Keterangan:

h_n adalah ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari Tabel 2.8.

Tabel 2. 8. Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: SNI 1726-2019

Sebagai alternatif, diizinkan untuk menentukan periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat di mana sistem pemikul gaya seismik terdiri dari rangka pemikul momen yang seluruhnya beton atau seluruhnya baja dan rata-rata tinggi tingkat sekurang-kurangnya 3 m:

Persamaan 2.22.

$$T_a = 0,1N \quad (2.22)$$

Keterangan:

N = Jumlah tingkat

2.4.6. Nilai Periode Untuk Menentukan Simpangan Antar Tingkat

Untuk menentukan kesesuaian dengan batasan simpangan antar tingkat dalam 0, diizinkan untuk menentukan simpangan antar tingkat elastik, x_e , menggunakan gaya desain seismik berdasarkan pada periode fundamental struktur yang dihitung tanpa rumus batasan atas simpangan antar tingkat yang ditetapkan dalam 0.

$$T = C_u T_a \quad (2.23)$$

2.4.7. Penentuan Periode

Menurut SNI 1726-2019 apabila periode alami struktur diperoleh dari hasil analisis dan dengan menggunakan program komputer (T_c), maka periode alami struktur yang diambil (T) harus ditentukan dengan ketentuan sebagai berikut:

Tabel 2. 9. Ketentuan Nilai T

Jika $T_c > C_u * T_a$	Digunakan $T = C_u * T_a$
Jika $T_a < T_c < C_u * T_a$	Digunakan $T = T_c$
Jika $T_c < T_a$	Digunakan $T = T_a$

Sumber: SNI 1726-2019

Keterangan :

T_c : T periodik dari program komputer

T_a : T periode fundamental pendekatan

2.4.8. Arah Pembebanan Gempa

Berdasarkan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002), bahwa dalam perencanaan struktur gedung arah pembebanan gempa harus ditentukan sedemikian rupa agar memberikan pengaruh terhadap struktur gedung secara keseluruhan. Pengaruh pembebanan gempa harus dianggap efektif 100% pada arah sumbu utama dan terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa arah tegak lurus sumbu utama pembebanan tadi, tetapi dengan efektifitas hanya 30%.

2.4.9. Beban Gempa Nominal Statik Ekuivalen

Struktur gedung beraturan dapat direncanakan terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam arah masing-masing sumbu utama denah struktur tersebut, berupa beban gempa nominal statik ekuivalen.

Apabila kategori gedung memiliki Faktor Keutamaan I menurut Tabel 2.2 dan strukturnya untuk suatu arah sumbu utama denah struktur dan sekaligus arah pembebanan gempa rencana memiliki faktor reduksi gempa R dan waktu getar

alami fundamental T1, maka beban geser dasar nominal statik ekuivalen V yang terjadi di tingkat dasar dapat dihitung menurut Persamaan 2.24.

$$V = \frac{C_1 I}{R} W_t \quad (2.24)$$

Keterangan:

V = Gaya geser dasar

C₁ = Faktor respon gempa

R = Faktor reduksi gempa

W_t = Berat total gedung

Beban geser dasar nominal V menurut Persamaan 2.3 harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen F_i yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke-i. Hal ini dapat dihitung dengan persamaan 2.25.

$$F_i = \frac{W_i \cdot Z_i}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot Z_i} V \quad (2.25)$$

Keterangan:

W_i = berat lantai tingkat ke-i, termasuk beban hidup yang sesuai.

Z_i = ketinggian lantai tingkat ke-i diukur dari taraf penjepitan lateral.

n = nomor lantai tingkat paling atas.

2.5. Kinerja Struktur

2.5.1. Kinerja Batas Layan

Kinerja batas layan struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar-tingkat akibat pengaruh gempa rencana, yaitu untuk membatasi terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, di samping untuk mencegah kerusakan nonstruktur dan ketidaknyamanan penghuni. Simpangan antar-tingkat ini harus dihitung dari simpangan struktur gedung tersebut akibat pengaruh gempa nominal yang telah dibagi faktor skala.

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan struktur gedung, dalam segala hal simpangan antar-tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melampaui $\frac{0,03}{R}$ kali tinggi tingkat yang bersangkutan atau 30 mm, bergantung yang mana yang nilainya terkecil.

2.5.2. Kinerja Batas Ultimit

Kinerja batas ultimit struktur gedung ditentukan oleh simpangan dan simpangan antartingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur gedung di ambang keruntuhan, yaitu untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa manusia dan untuk mencegah benturan berbahaya antar gedung atau antar bagian struktur gedung yang dipisah dengan sela pemisah (sela delatasi). Simpangan dan simpangan antar tingkat ini harus dihitung dari simpangan struktur gedung akibat pembebanan gempa nominal, dikalikan dengan suatu faktor pengali ξ sebagai berikut :

- a. Untuk struktur gedung beraturan :

$$\xi = 0,7 R \quad (2.26)$$

- b. Untuk struktur gedung tidak beraturan :

$$\xi = \text{Faktor Skala } 0,7R \quad (2.27)$$

dengan R adalah faktor reduksi gempa struktur gedung tersebut.

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas ultimit struktur gedung, dalam segala hal simpangan antar tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melampaui 0,002 kali tinggi tingkat yang bersangkutan.

2.6. Kontrol Terhadap Simpangan Horizontal

Berdasarkan pada buku Struktur dan Konstruksi Bangunan Tinggi oleh Ir. Hartono Poerbo, M.Arch menyebutkan bahwa suatu struktur bertingkat tinggi harus melalui pemeriksaan pelampauan tegangan batas bahan struktur, juga harus diperiksa simpangan horizontalnya. Simpangan horizontal bangunan tinggi tidak boleh melebihi 0.002 tinggi total gedung.

Jika ditinjau pada sumbu lemah struktur (arah X) yang mana jika sumbu lemah sudah sesuai dengan kontrol maka sudah bisa dipastikan bahwa sumbu kuatnya juga kaku.

Berdasarkan hasil analisis maka didapatkan kontrol simpangan horizontal sebagai berikut:

$$dX < 0.002h \quad (2.28)$$

$$dX \leq 0.002 \times 16500 \text{ mm}$$

$$dX \leq 33 \text{ mm}$$

Dimana h adalah tinggi total bangunan.

2.7. Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai Hubungan Jarak Kolom Dengan Wilayah Gempa Berbeda sudah dilakukan sebelumnya dan menjadi referensi dibuatnya penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian oleh Apriadi Sipahutar pada tahun 2018 dengan mengambil judul **“ Hubungan Jarak Antar Kolom Terhadap Kekakuan Struktur Dengan Metode Matriks Kekakuan dan SAP 2000”** .

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah menganalisa portal dengan panjang bentang dan dimensi penampang yang berbeda-beda. Metode penelitian dilakukan dengan melakukan analisa terhadap portal dengan jarak panjang bentang dan dimensi penampang yang berbeda dengan menggunakan metode matriks kekakuan dan SAP 2000 sebagai bahan perbandingan.

Penelitian terdahulu ini memperoleh hasil analisis dimana perbedaan dimensi dan panjang bentang pada portal menunjukkan bahwa semakin kaku struktur yang dianalisis maka deformasi yang dihasilkan semakin kecil, hal ini dipengaruhi oleh semakin besar dimensi (b/h) yang digunakan maka inersia (I) juga akan semakin besar sehingga deformasi pada struktur semakin kecil. Hasil analisis menggunakan SAP 2000 juga menunjukkan hasil yang hampir sama dengan analisa menggunakan matriks kekakuan.

- b. Penelitian oleh Nadia Rahma Pramesti pada tahun 2018 dengan mengambil judul **“Analisa Perilaku Bangunan Tidak Beraturan Horizontal Dengan Variasi Dimensi Kolom Terhadap Gempa”**.

Penelitian terdahulu ini bertujuan untuk menganalisis perilaku bangunan terhadap beban gempa dengan menggunakan variasi perubahan dimensi kolom menjadi lebih kecil pada bangunan tidak beraturan secara horizontal sistem non paralel.

Objek penelitian ini menggunakan Wisma Cipinang Indah yang merupakan bangunan yang memiliki ketidakberaturan horizontal system non paralel yaitu ketidakberaturan posisi corewall yang tidak berada di pusat massa bangunan dan bentuk corewall yang miring. Perilaku struktur bangunan menghasilkan respon struktur berupa gaya geser dasar, periode getar struktur, simpangan total dan simpangan antar tingkat. Analisis terhadap beban gempa menggunakan analisis dinamis respons spektrum berdasarkan SNI 1726:2012 dengan bantuan software ETABS versi 9.7.4.

Hasil penelitian terdahulu ini menunjukkan bahwa pengecilan dimensi kolom pada bangunan yang tidak beraturan horizontal system non

paralel menurunkan kekakuan bangunan sehingga memperkecil gaya dalam struktur, memperbesar periode getar struktur, memperkecil gaya geser dasar, memperbesar simpangan total dan simpangan antar tingkat. Selain itu, bangunan ketidakberaturan system non paralel juga menyebabkan perbedaan simpangan total rata-rata yang besar terhadap perilaku bangunan dari arah sumbu X dan sumbu Y sebesar 104,05%. Oleh karena itu, bangunan dengan variasi pengecilan dimensi kolom dengan ketidakberaturan system non paralel akan menurunkan ketahanan bangunan terhadap beban gempa dan menghasilkan perilaku bangunan yang mempunyai perbedaan ketahanan bangunan yang sangat besar dari sumbu X dan sumbu Y.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan metode analisis perancangan yang difokuskan untuk mengetahui perubahan simpangan horizontal akibat penggunaan jarak kolom yang berbeda. Analisis dilakukan pada suatu struktur beton pemikul momen dalam bentuk portal 3 dimensi. Analisis didasarkan pada SNI 03-1726-2019, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung dan SNI 2847:2019, Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.

Metode penelitian ini dapat dibagi dalam 3 tahap yaitu input, analisis dan output. Dalam tahap input yang perlu dilakukan antara lain penentuan geometri struktur, penentuan jenis beban dan pemodelan struktur 3 dimensi. Sedangkan tahap analisis antara lain analisis struktur 3 dimensi dengan Perangkat Lunak Komputer untuk mengetahui besarnya deformasi (displacement) pada tiap lantai gedung dan membandingkan nya dengan hasil analisis model berjarak kolom berbeda lainnya. Tahap terakhir yaitu tahap output dimana pada tahap ini membahas tentang perubahan besarnya deformasi akibat perubahan jarak kolom pada gedung.

Namun, untuk mengurangi keraguan akan hasil perhitungan Perangkat Lunak Komputer peneliti melampirkan perbandingan hasil “Hitungan Perangkat Lunak Komputer” dengan “Hasil Hitungan Manual dengan Menggunakan Metode Kekakuan Elemen”, pada kasus portal 2 dimensi. Tetapi tidak digunakan sebagai pokok pembahasan utama melainkan hanya sebagai dasar pemahaman teori.

3.1. Pedoman Perencanaan

Dalam perencanaan model struktur tugas akhir ini, pedoman yang digunakan sebagai acuan adalah:

- a. Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan (SNI 2847-2019)
- b. Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung (SNI 1726-2019)

3.1.1. Data desain bangunan

Bentuk yang direncanakan adalah Gedung Perkantoran empat lantai dengan struktur beton bertulang, dengan data-data sebagai berikut :

3.1.1.1. Untuk Jarak Kolom 4 meter

Panjang bangunan total	: 40 meter
Lebar bangunan	: 25 meter
Tinggi bangunan	: 16,5 meter
Bentuk	: Persegi panjang
Peruntukan	: Gedung Perkantoran
Lokasi	: Medan dan Gunungsitoli
Tanah dasar	: Sedang
Mutu baja, F_y	: 350 MPa
Mutu Beton, F_c'	: 25 MPa

3.1.1.2. Untuk Jarak Kolom 5 meter

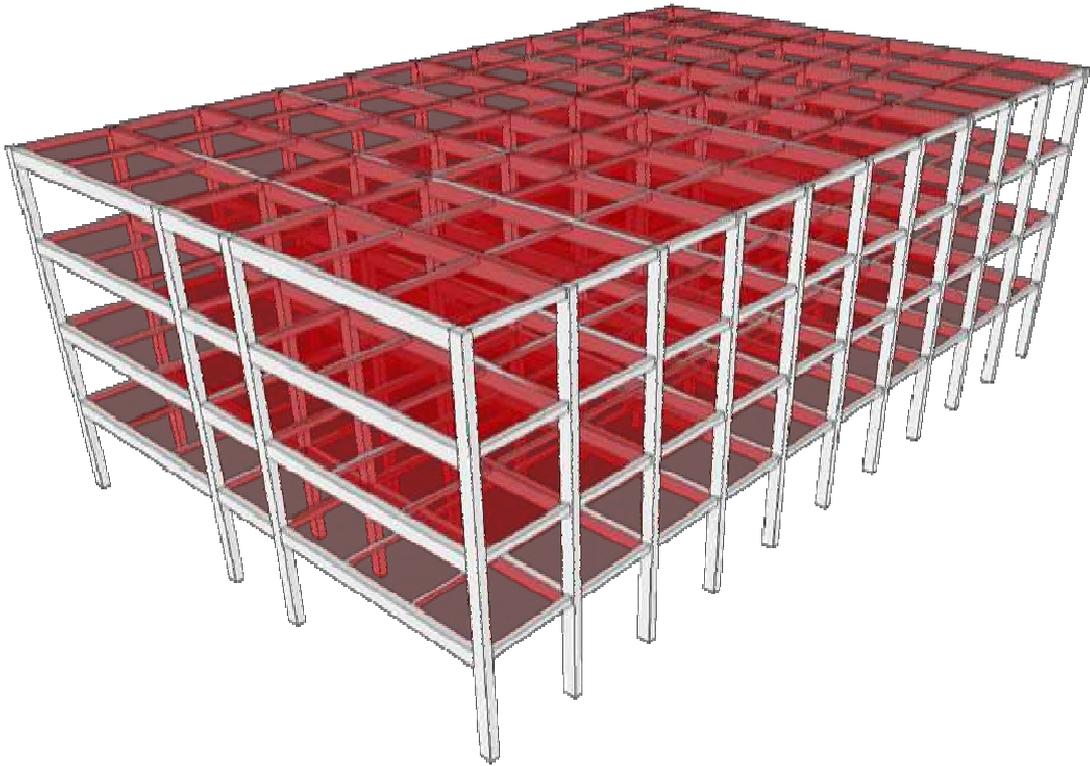
Panjang bangunan total	: 50 meter
Lebar bangunan	: 25 meter
Tinggi bangunan	: 16,5 meter
Bentuk	: Persegi panjang
Peruntukan	: Gedung Perkantoran
Lokasi	: Medan dan Gunungsitoli
Tanah dasar	: Sedang
Mutu baja, F_y	: 350 MPa
Mutu Beton, F_c'	: 25 MPa

3.1.1.3. Untuk Jarak Kolom 6 meter

Panjang bangunan total	: 60 meter
Lebar bangunan	: 25 meter
Tinggi bangunan	: 16,5 meter
Bentuk	: Persegi panjang
Peruntukan	: Gedung Perkantoran
Lokasi	: Medan dan Gunungsitoli
Tanah dasar	: Sedang
Mutu baja, F_y	: 350 MPa
Mutu Beton, F_c'	: 25 MPa

Sedangkan pemodelan 3D nya dapat dilihat pada gambar 3.2.

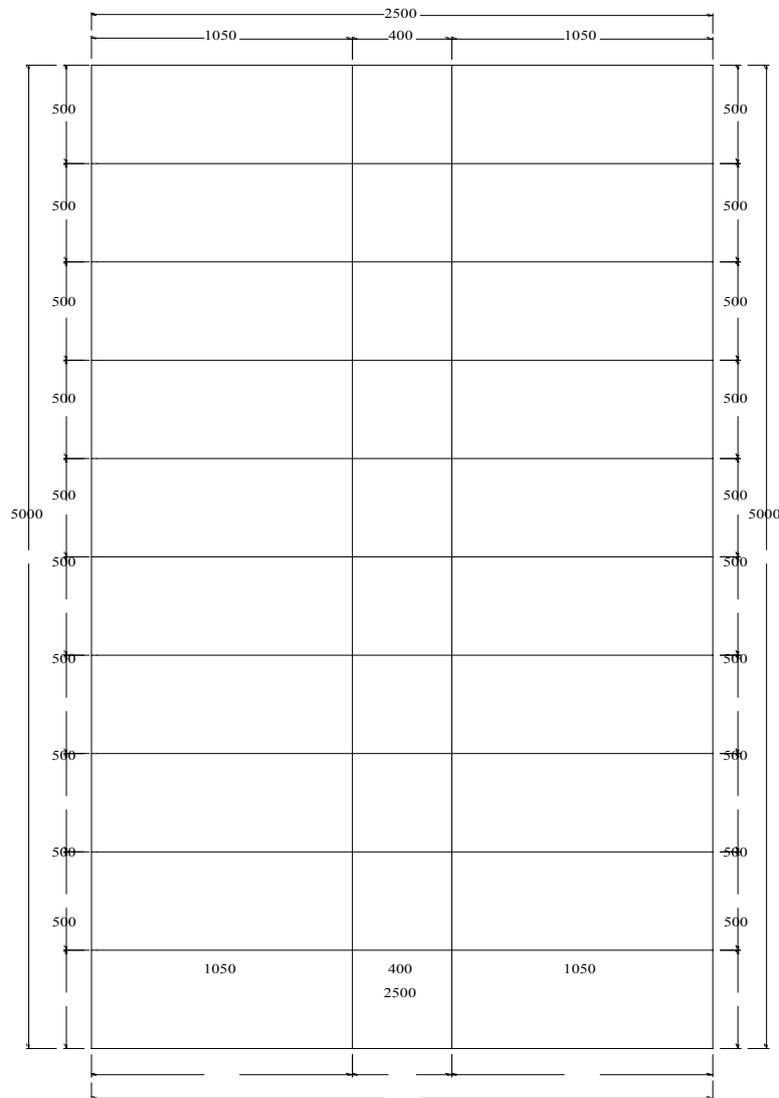
Gambar 3. 2. Model 1 dalam bentuk 3 dimensi



3.2.2. Model Struktur dengan Jarak Kolom 5 Meter

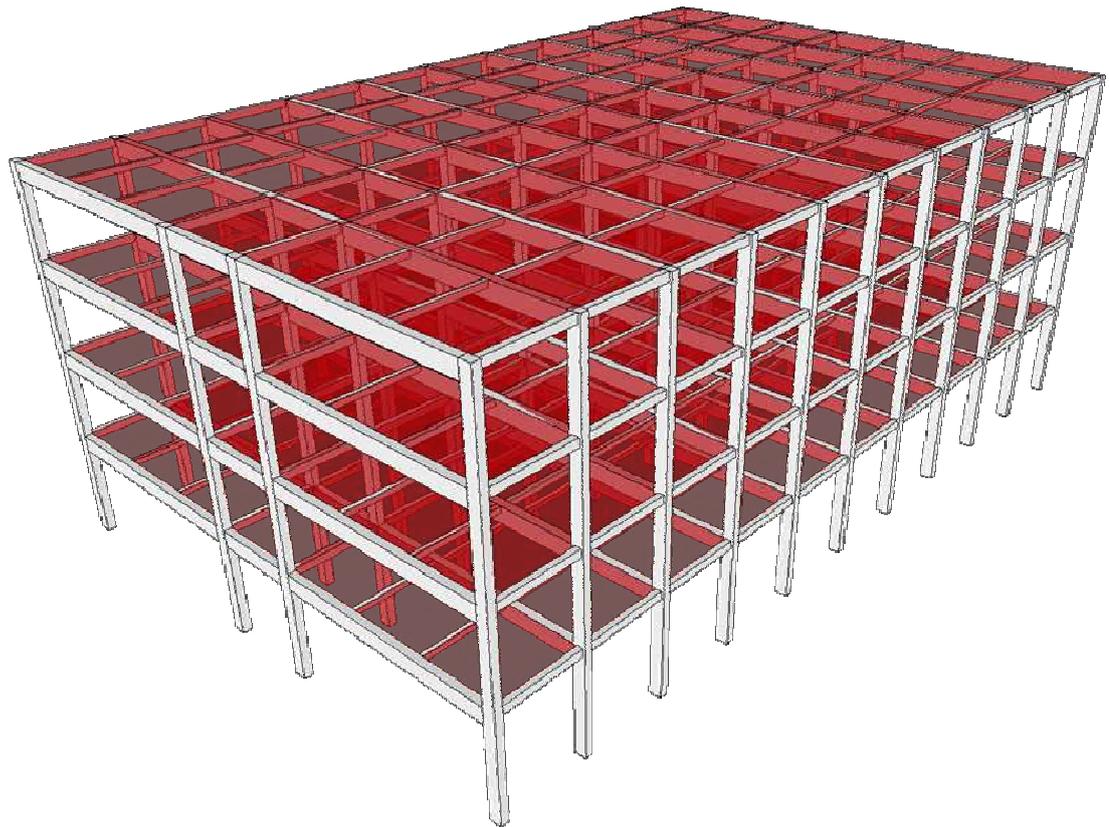
Sama halnya dengan denah sebelumnya Model gedung yang akan dianalisis adalah berupa gedung berbentuk persegi panjang dengan 4 lantai + 1 lantai atap. Fungsi gedung digunakan sebagai gedung perkantoran. Tinggi Lantai 1 yaitu 4,5 meter sedangkan tinggi lantai 2, lantai 3, dan lantai 4 masing – masing 4 meter. Ukuran denah bangunan adalah 25 m x 50 m, untuk lebih lengkapnya Denah gedung dapat dilihat pada gambar 3.3.

Gambar 3. 3. Denah model 2



Sedangkan pemodelan 3D nya dapat dilihat pada gambar 3.4.

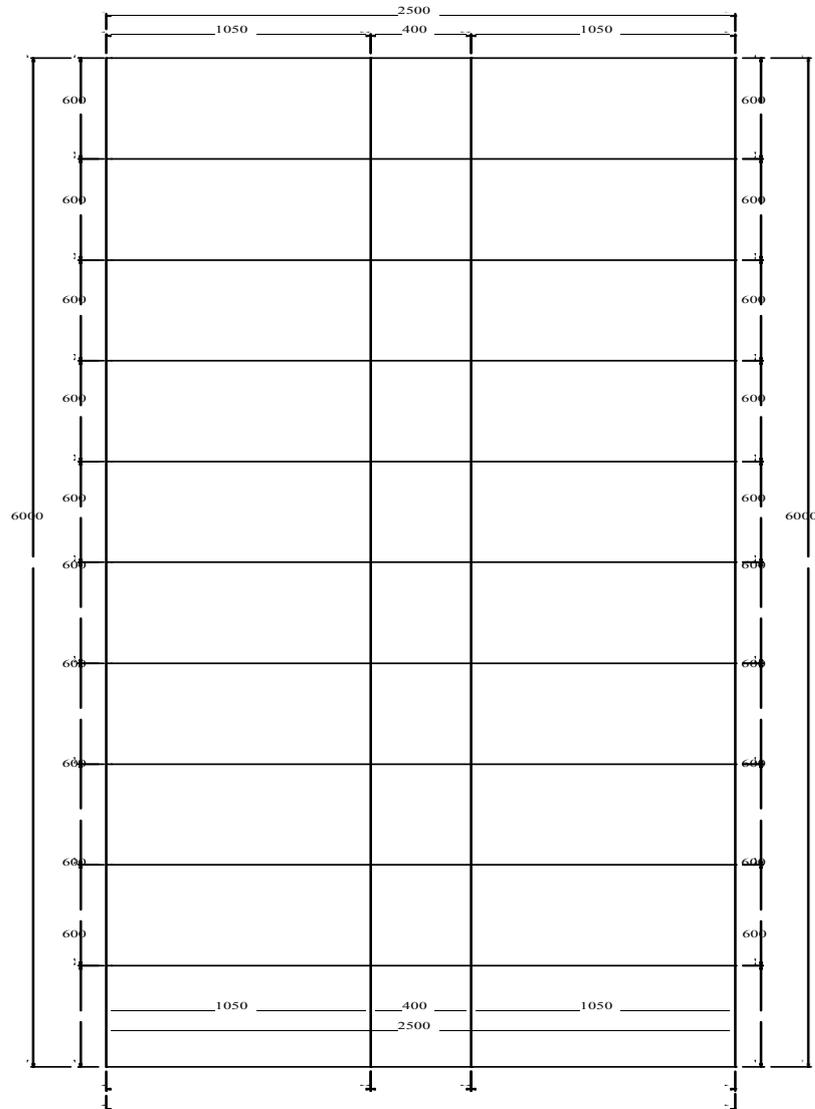
Gambar 3. 4. Model 2 dalam bentuk 3 dimensi



3.2.3. Model Struktur dengan Jarak Kolom 6 Meter

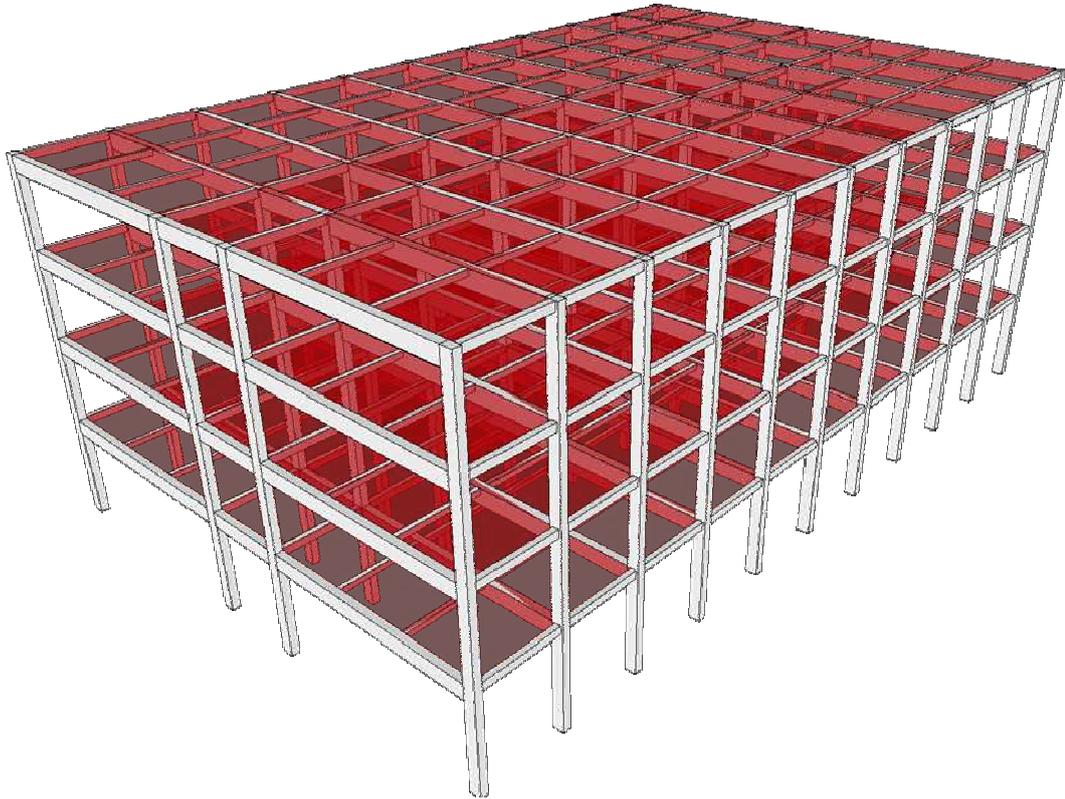
Sama halnya dengan denah sebelumnya Model gedung yang akan dianalisis adalah berupa gedung berbentuk persegi panjang dengan 4 lantai + 1 lantai atap. Fungsi gedung digunakan sebagai gedung perkantoran. Tinggi Lantai 1 yaitu 4,5 meter sedangkan tinggi lantai 2, lantai 3, dan lantai 4 masing – masing 4 meter. Ukuran denah bangunan adalah 25 m x 50 m, untuk lebih lengkapnya Denah gedung dapat dilihat pada gambar 3.5.

Gambar 3. 5. Denah model 3



Sedangkan pemodelan 3D nya dapat dilihat pada gambar 3.6.

Gambar 3. 6. Model 3 dalam bentuk 3 dimensi



3.3. Perancangan Awal (Preliminary Design)

3.3.1. Perancangan Tebal Pelat

Syarat untuk menentukan tebal minimum pelat (SNI 2847-2019), dihitung sesuai dengan persamaan pada tabel 2.1 dengan ketentuan bahwa tebal minimum tidak boleh kurang dari nilai sebagai berikut:

tebal minimum untuk lantai tipikal = 12 cm

tebal minimum untuk lantai atap = 10 cm

3.3.2. Perancangan Dimensi Balok

Syarat untuk menentukan dimensi balok dihitung sesuai dengan persamaan (2.2) untuk mengetahui tinggi minimum balok dan persamaan (2.6) untuk mengetahui lebar minimum balok.

3.3.3. Perancangan Dimensi Kolom

Syarat untuk menentukan dimensi kolom dihitung sesuai dengan persamaan (2.1).

3.4. Pembebanan

Adapun beban-beban yang diperhitungkan dalam perencanaan adalah sebagai berikut:

3.4.1.1. Beban Mati

Beban Mati pada struktur bangunan gedung ditentukan dan digunakan acuan “Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727-2018”, seperti berikut :

Beton Bertulang	: 2400kg/m ³
Spesi/Adukan Semen	: 21kg/m ²
Plafond dan Rangka	: 18kg/m ²
Dinding Tembok Setengah Batu	: 250kg/m ²

M/E : 10kg/m²

Tegel ubin : 24kg/m²

3.4.1.2. Beban Hidup

Lantai Atap : 100kg/m²

Lantai Perkantoran : 250kg/m²

3.4.1.3. Beban Gempa

Sesuai dengan Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung (SNI 1726-2019)

3.5. Langkah-langkah Penggunaan program komputer

Langkah paling awal sebelum melakukan analisis adalah menggambarkan geometri struktur pada program komputer. Dilanjutkan dengan mendefinisikan penampang, material dan besarnya, serta melakukan “assign” penampang dan material. Berikut langkah-langkahnya:

1. Buatlah satuan dalam kgf-m, pada New Model from Template, pilihlah icon portal 3 dimensi dan ketiklah pada kotak isian Portal Frame sesuai dengan desain geometri struktur. Kotak isian restrains dan gridline di beri tanda v (checked)
2. Rubahlah peletakan atau tumpuan menjadi jepit dengan cara Assign Joint Restraint, lalu pilihlah icon tumpuan jepit.
3. Hilangkan gambar pandangan 3D sehingga diperoleh gambar pandangan 2D (X-Z Plane @ Y = 0) yang lebih besar
4. Pada Material Property Data ketikkanlah definisi material beton yang akan digunakan untuk analisis sebagai berikut;

$$\text{Mass per unit volume} = 0$$

$$\text{Weight per unit volume} = 2400$$

$$\text{Modulus of Elasticity} = 4700\sqrt{f'_c}$$

5. Rubahlah satuan dalam N-mm, kemudian sekali lagi pada Material Property Data di bagian Design Property Data rubahlah $f'c = 25$ MPa
6. Rubah lagi satuan dalam Kgf-m, pada menu Define Frame Sections, pilihlah Add Rectangular, lalu isilah data yang diminta sesuai dengan data balok, misalnya seperti berikut;

Section Name : BALOK KI

Material Name : CONC

Depth(t3) : 0.70

Width(t2) : 0.40

Reinforcement : Pada element class berilah tanda pada bagian beam dan isilah nilai selimut beton untuk top = 0,04 dan untuk bottom = 0,04 juga.

Lakukan hal yang sama untuk semua jenis balok.

7. Untuk membuat kolom, pada menu Define Frame Sections pilihlah Add Rectangular, lalu isilah data yang diminta sesuai dengan data kolom, misalnya seperti berikut;

Section Name : Kolom 1

Material Name : CONC

Depth(t3) : 0.50

Width(t2) : 0.35

Reinforcement : pada element class berilah tanda pada bagian colom dan isilah nilai selimut beton untuk top = 0,04 dan untuk bottom = 0,04 juga.

Lakukan hal yang sama untuk semua jenis kolom

- Define => Sections propert => area section pilihlah Add area section lalu isilah data yang diminta sesuai dengan data balok, misalnya seperti berikut;

Section Name : Pelat lantai

Material Name : CONC

Membrane : 0.12

Bending : 0.12

Lakukan hal yang sama untuk semua jenis pelat.

- Pilihlah (select) frame yang akan di 'assign', kemudian dari menu Assign/Frame/Section sesuaikan dengan definisi penampang yang telah dibuat sebelumnya.
- Setelah langkah tersebut diatas sudah selesai maka sekarang membaut load petterns dengan cara : menu define => load petterns, isilah load petterns sesuai dengan beban yang di perhitungkan.
- Buat kombinasi pembebanan dengan cara : menu define => load combinations, isilah kombinasi pembebanan yg direncanakan. Misalnya combo 1= 1.2DL+1.4LL+1SY+0.3SX
- Masukan semua beban yang di terima oleh bangunan dengan cara : Assign => joint load/frame load/area load. Masukan semua beban sesuai dengan beban yang direncanakan.
- Set option pada analyze dirubah menjadi 3 dimensi (gambar icon portal), lalu Run. Lakukan juga run analisis tanpa beban gempa terlebih dahulu untuk mengetahui nilai T periodik nya.
- Setelah T periodik diketahui dan nilai gempa statiknya juga sudah diketahui lakukan penginputan beban gempa pada struktur dengan cara: Assign => joint load, kemudian Run Analyze.

3.6. Sistematika Penulisan

BAB I : Pendahuluan

Terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, maksud penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Membahas tentang teori dasar dari beberapa referensi yang mendukung serta mempunyai relevansi dengan penelitian ini.

BAB III : Metode Penelitian

Berisikan metoda penelitian.

BAB IV : Analisis Dan Pembahasan

Berisikan uraian analisis dan pembahasan terhadap hasil yang diperoleh.

BAB V :Kesimpulan Dan Saran

Berisikan tentang kesimpulan dan saran dari hasil analisis yang di lakukan.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

3.7. Tahapan Penelitian

Untuk mewujudkan uraian diatas maka langkah analisis yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan denah struktur, geometri sruktur, dan dimensi struktur.
- b. Menentukan jenis-jenis beban yang akan diapakai antara lain beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

- c. Melakukan pemodelan struktur 3 dimensi sesuai denah dengan jarak kolom 4 meter, 5 meter, dan 6 meter.
- d. Melakukan analisis struktur terhadap model 3 dimensi tanpa beban gempa dengan menggunakan perangkat lunak komputer untuk mengetahui besaran periode getar alami yang dialami masing-masing model struktur.
- e. Melakukan perhitungan besaran respon gempa yang dialami oleh struktur berdasarkan wilayah peninjauan, dalam hal ini ada dua wilayah peninjauan antara lain wilayah Kota Medan dan Wilayah Kota Gunungsitoli.
- f. Melakukan perhitungan besaran beban gempa statik ekuivalen pada tiap lantai model struktur.
- g. Melakukan pemodelan struktur 3 dimensi untuk masing- masing model dengan menginputkan seluruh beban, dalam hal ini beban mati, beban hidup dan beban gempa statik pada tiap lantai struktur.
- h. Melakukan analisis struktur terhadap model untuk mengetahui besaran nilai deformasi atau displacement pada wilayah Kota Medan
- i. Melakukan kontrol deformasi pada hasil analisis struktur untuk mengetahui apakah struktur dalam keadaan aman atau tidak.
- j. Melakukan analisis struktur terhadap model untuk mengetahui besaran nilai deformasi atau displacement pada wilayah Kota Gunungsitoli.
- k. Melakukan kontrol deformasi pada hasil analisis struktur untuk mengetahui apakah struktur dalam keadaan aman atau tidak.
- l. Pembahasan hasil analisis model struktur pada wilayah Kota Medan dengan wilayah Kota Gunungsitoli untuk mendapatkan hubungan antara jarak kolom dengan wilayah gempa tinjauan.
- m. Mengambil kesimpulan. Pada tahap ini, dengan berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan, dibuat suatu kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian. Tahapan penelitian selengkapnya dapat dilihat pada diagram alir langkah kerja. Gambar 3.7.

3.7.1. Diagram Alir

Gambar 3. 7. Diagram alir penelitian

