

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar teori

2.1.1 Gempa Bumi

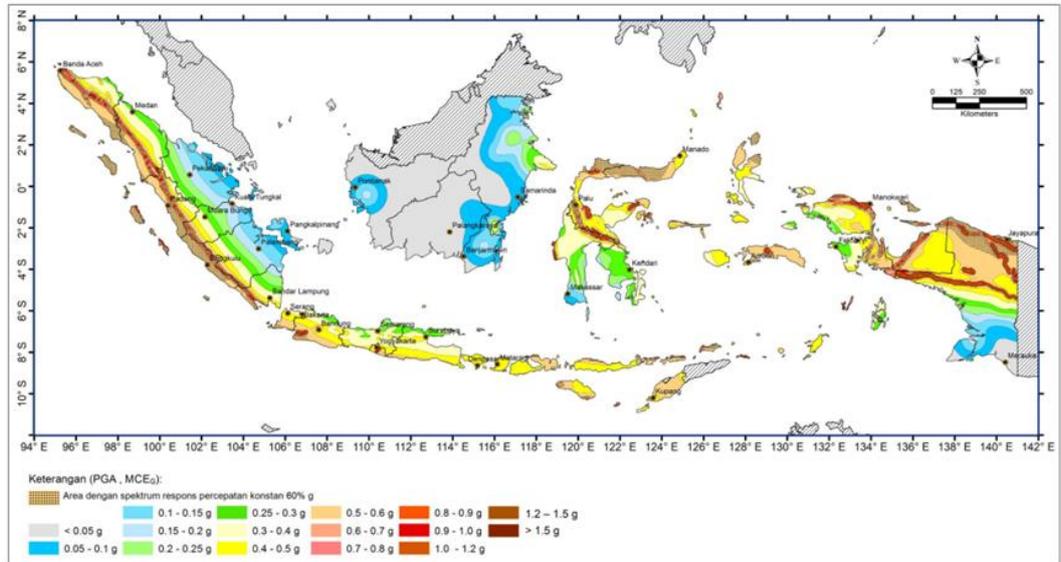
Gempa bumi adalah suatu getaran yang alamiah pada lokasi tertentu tetapi sifatnya tidak berkelanjutan (Laresi et al., 2019). Gempa bumi disebabkan adanya tumbukan lempeng tektonik dan pada dasar laut terjadi ambles. Lempeng samudera yang mempunyai massa jenis tinggi akan menumbuk (menunduk) lempeng benua pada zona tumbukan dan meluncur ke bawah. Saat bencana gempa bumi terjadi yang mengakibatkan bangunan terutama pada bagian struktur akan mengalami getaran seismik. Strukturnya akan merespon terutama pada kekuatan gaya dalam nya.

2.1.2 Analisis Dinamik

- Terdapat dua pendekatan utama yang dapat digunakan untuk menganalisis beban gempa pada struktur bangunan, yaitu metode analisis statik ekuivalen dan metode analisis dinamik. Pada pendekatan statik ekuivalen, pengaruh gempa direpresentasikan sebagai beban lateral statis yang diterapkan pada titik pusat massa struktur. Setiap massa dalam bangunan dianggap menerima gaya lateral tertentu, yang disesuaikan dengan besar massa tersebut. Sesuai dengan asas keseimbangan gaya, seluruh gaya horizontal yang bekerja pada masing-masing massa disetarakan dengan satu gaya horizontal total yang bekerja di bagian dasar struktur, yang kemudian dikenal sebagai *base shear*. Gaya ini menggambarkan respons keseluruhan struktur terhadap beban gempa dan mewakili jumlah total gaya lateral yang harus ditahan oleh sistem penahan lateral bangunan.

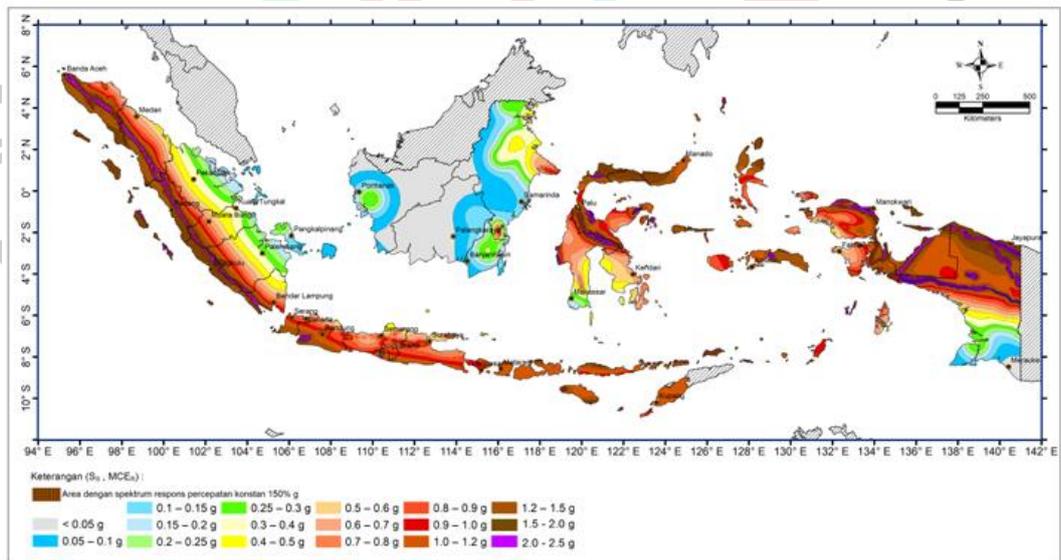
2.1.3 Peta Zona Gempa

Peta zona gempa berdasarkan peraturan SNI 1726:2019 merupakan acuan utama dalam merancang bangunan tahan gempa di Indonesia. Peta tersebut dibuat berdasarkan PGA (*Peak Ground Acceleration*), seperti pada gambar 2.1.

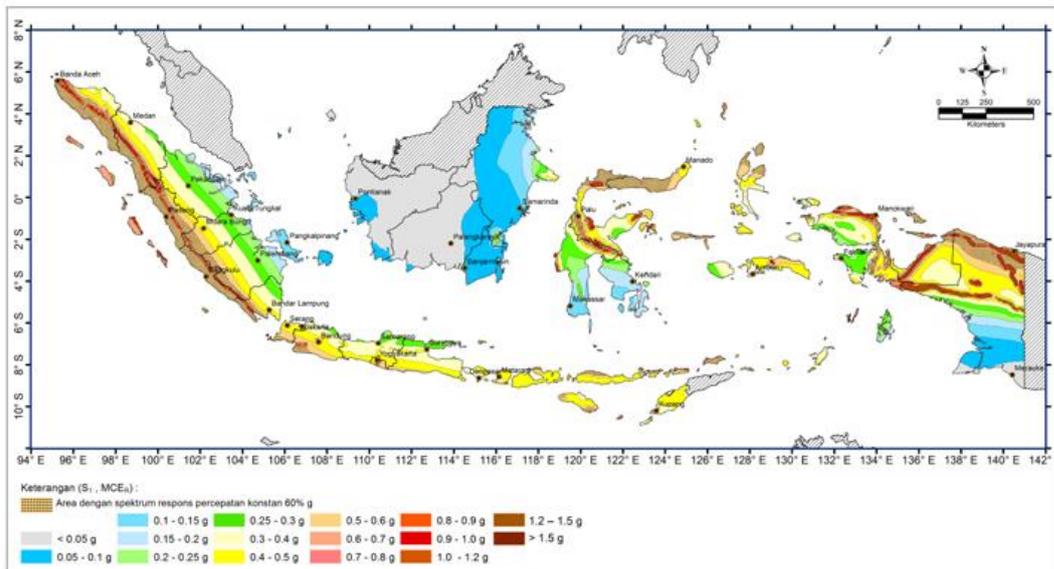


Gambar 2. 1 Peta zona gempa Indonesia berdasarkan PGA (sumber: SNI 1726:2019)

Untuk parameter pada S_1 (percepatan respon spectral MCE periode 1 detik) dan S_s (percepatan respon spectral MCE periode pendek) menjadi salah satu penentu peta zona gempa di Indonesia sebagaimana terlihat pada gambar 2.2 dan gambar 2.3.



Gambar 2. 2 Peta zona gempa berdasarkan parameter S_s (sumber: SNI 1726:2019)



Gambar 2. 3 Peta zona gempa berdasarkan parameter S_1 (sumber: SNI 1726:2019)

2.1.4 Struktur Bangunan *Circular*

Bangunan *circular* merupakan bentuk geometris silinder yang unik dalam desain arsitektur dan kinerja struktural. Struktur bangunan *circular* memiliki bentuk yang kontinu dan tidak terputus, sehingga dapat mendistribusikan tegangan secara merata dan meningkatkan stabilitas di bawah berbagai beban. Kinerja bangunan *circular* karena bentuknya yang simetris maka respon seismik memiliki efek torsi yang minimal, sehingga perpindahan dan deformasinya lebih sedikit dibandingkan dengan bangunan *rectangular* (Jiwane and MahaLLe, 2024).

Merancang bangunan *circular* memiliki keunikan geometri bangunan tersendiri sehingga terdapat kerumitan dalam merancang dinding lengkung dan dibutuhkan teknik konstruksi khusus dalam pembuatannya. Namun, bangunan *circular* dapat mengoptimalkan penggunaan material dan menyediakan ruang interior yang terbuka dan fleksibel yang sangat mudah beradaptasi. Contoh bangunan *circular* yang terdapat di Indonesia yaitu gedung rektorat Unpad Jatinangor yang mengilustrasikan daya tarik dan fungsionalitas dari bentuk arsitekturnya.

2.1.5 Bangunan Tahan Gempa

Pencegahan keruntuhan bangunan saat gempa bumi menjadi perhatian utama dalam merancang bangunan sesuai standar yang berlaku (Joyner and Sasani,

2020). Bangunan yang dirancang untuk tahan gempa memiliki kriteria khusus guna mencegah dan mengurangi kemungkinan terjadinya kegagalan struktur (*failure*) saat gempa bumi terjadi (Dhea et al., 2019). Berikut adalah beberapa konsep dasar dalam merencanakan bangunan yang tahan gempa:

Tabel 2. 1 Konsep dasar perencanaan bangunan tahan gempa

Kekuatan Gempa	Kondisi Yang di Izinkan
Gempa berkekuatan rendah	Hal ini mengharuskan bangunan harus kuat dan tidak ada kerusakan pada komponen struktural maupun non-struktural.
Gempa berkekuatan sedang	struktur diperbolehkan mengalami kerusakan pada elemen non strukturnya, asalkan tidak ada kerusakan pada elemen-elemen yang mendukung struktur.
Gempa berkekuatan besar	kerusakan pada elemen struktur dan non-struktural diperbolehkan, asalkan tidak mengakibatkan keruntuhan bangunan. Dengan tujuannya untuk memastikan keselamatan individu dan meminimalkan korban jiwa.

2.2 Ketentuan Umum Bangunan Gedung dalam Perencanaan Gempa

2.2.1 Faktor Keutamaan dan Kategori Struktur Bangunan

Kategori risiko untuk bangunan dan struktur bergantung Berdasarkan SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung pasal 4.1.2 pada tabel 3 dan tabel 4.

Tabel 2. 2 Kategori risiko bangunan

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainn 	I

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<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 	III
<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 	
<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 	IV

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
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 Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	

Sumber: SNI 1726:2019, SNI 1726:2019

Tabel 2. 3 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, SNI 1726:2019

2.2.2 Sistem Struktur dan Parameter Sistem

Ketentuan yang tercantum wajib dipenuhi oleh sistem struktur yang berfungsi sebagai penahan gaya gempa berdasarkan SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung Tabel 12 Pasal 7.2.2 Tabel 12, baik lateral maupun vertikal. Sistem struktur yang diterapkan harus memenuhi persyaratan terhadap jenis sistem serta batasan tinggi bangunan. Parameter seperti faktor modifikasi respons (R), faktor *overstrength* (Ω_0), dan faktor amplifikasi simpangan (C_d) dimanfaatkan dalam perhitungan gaya geser dasar, perancangan elemen struktural terhadap gaya dalam, serta penentuan simpangan relatif antar tingkat bangunan.

2.2.3 Faktor Respon Gempa

Dibutuhkan nilai faktor amplifikasi seismik untuk periode waktu 0,2 detik dan 1 detik. Faktor tersebut meliputi amplifikasi untuk periode pendek (F_a) sebagaimana tercantum dalam Pasal 6.2 Tabel 6, serta amplifikasi untuk percepatan pada periode 1 detik (F_v) yang dijelaskan dalam Pasal 6.2 Tabel 7, keduanya berfungsi sebagai parameter pengali untuk respons gempa pada masing-masing periode. Dalam menentukan nilai percepatan spektral desain perioda (S_{DS}) dan perioda 1 s (S_{D1}) sesuai dengan SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung Pasal 6.3, dengan persamaan:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.1)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.2)$$

Dimana:

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

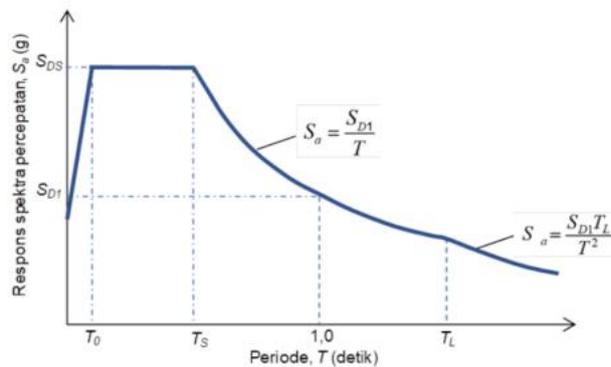
S_{D1} = Parameter percepatan spektral desain untuk perioda 1 detik

S_{MS} = Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek

S_{M1} = Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek

2.2.4 Spektrum Respon Desain

Berdasarkan Pasal 6.4 SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, grafik respons spektrum mengacu pada gambar 2.4 berikut.



Gambar 2. 4 Spektrum respons desain (Sumber: SNI 1726:2019)

2.2.5 Waktu Getar Alami Fundamental Struktur Gedung

Periode ini dilambangkan dengan simbol T dan dinyatakan dalam satuan detik. Persamaan yang digunakan untuk menghitung periode fundamental (T_a) dalam satuan detik adalah sebagai berikut:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (2.3)$$

Dengan :

T_a = Periode Fundamental pendekatan

h_n = Ketinggian struktur

C_t dan x ditentukan melalui tabel SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung pasal 7.8.2

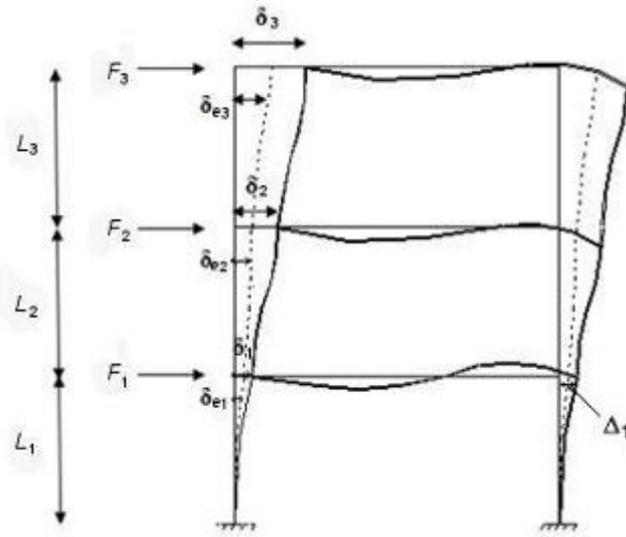
2.2.6 Percepatan Respons Spektral MCE dari Peta Gempa

Terdapat dua variable dalam Peta gempa yang dipertimbangkan yaitu S_S dan S_I kemudian dilengkapi dengan menggunakan aplikasi respon spektrum desain Indonesia yang dicari melalui web puskim 2021.

2.2.7 Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai (Δ) merupakan hasil evaluasi dari simpangan struktur bangunan akibat pengaruh beban gempa nominal (δx_e) yang telah dikalikan dengan koefisien pengali defleksi (C_d). Nilai defleksi pada pusat massa tingkat x (δx) yang dinyatakan dalam satuan milimeter, dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$\delta x = \frac{Cd \delta_{xe}}{Ie} \quad (2.4)$$



Gambar 2. 5 Penentuan simpangan antar tingkat (sumber: SIN 1726:2019)

Simpangan antar lantai yang diizinkan adalah Δ_a di tentukan berdasarkan 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung pasal 7.12.1 tabel 20.

2.3 Pembebanan dan Kombinasi Pembebanan

SNI 1727:2020 Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain merupakan kaidah dalam rencana bangunan yang mengatur pembebanan pada struktur gedung. Beban yang bekerja pada struktur berupa beban mati, beban hidup dan beban gempa.

2.2.1 Beban Hidup

Beban hidup merupakan jenis beban yang muncul akibat aktivitas penggunaan atau okupansi dalam suatu bangunan. Beban ini mencakup beban dari elemen-elemen yang dapat berpindah, seperti perabot, peralatan, serta mesin yang tidak menyatu secara permanen dengan struktur bangunan dan dapat digantikan selama umur layanan bangunan tersebut.

2.2.2 Beban Mati

Beban mati merujuk pada beban permanen yang berasal dari berat elemen struktur bangunan itu sendiri, termasuk seluruh komponen pendukung yang bersifat tetap dan tidak dapat dipindahkan. Komponen-komponen beban ini mencakup antara lain:

1. Beban material struktur yaitu berupa data berat jenis dan berat material.
2. Beban peralatan tetap yaitu berupa peralatan-peralatan tambahan yang terintegrasi dan selalu tersedia selama masa layanbangunan tersebut.

2.2.3 Beban Gempa

Beban gempa yang diakibatkan oleh getaran di permukaan tanah diatur dalam kaidah perencanaan beban gempa mengacu pada SNI 1726:2019 yang mencakup faktor keutamaan gedung, percepatan puncak muka tanah, zona gempa, waktu getar alami dan faktor reduksi gempa.

2.2.4 Beban Kombinasi Gedung

Beban kombinasi gedung harus direncanakan untuk dapat menghasilkan kekuatan struktur gedung yang sanggup menahan beban terfaktor. Beban kombinasi gedung yang dipakai menurut pedoman SNI 1727:2020 Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

2.4 Robot Structural Analysis Professional (RSAP)

Software Robot Structural Analysis Professional (RSAP) yang merupakan salah satu program untuk pemodelan struktur, analisis, dan desain. Program ini juga dapat menyelesaikan berbagai jenis pemodelan dan masalah yang rumit. Pemodelan 3D yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan versi RSAP 2025.

2.5 Peraturan

Tabel 2. 4 Peraturan yang digunakan

No	Ketentuan	Standar	Pasal
1.	Klasifikasi kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung pada fungsi atau pemanfaatan bangunan	SNI 1726:2019	Pasal 4.1
2.	Klasifikasi situs	SNI 1726:2019	Pasal 5.3

No	Ketentuan	Standar	Pasal
3.	Peta Wilayah gempa	SNI 1726:2019	Pasal 14
4.	Prosedur pembuatan respon spektra	SNI 1726:2019	Pasal 6.1
5.	Koefisien situs	SNI 1726:2019	Pasal 6.2
5.	Parameter percepatan gempa	SNI 1726:2019	Pasal 6.2
6.	Percepatan spektral desain	SNI 1726:2019	Pasal 6.3
7.	Spektrum respons desain	SNI 1726:2019	Pasal 6.4
8.	Kategori desain seismik	SNI 1726:2019	Pasal 6.5
10.	Faktor-faktor dan kombinasi beban	SNI 1726:2019	Pasal 5.3.1
11.	Sistem struktur penahan gaya seismik	SNI 1726:2019	Pasal 7.2
12.	Gaya geser dasar seismik	SNI 1726:2019	Pasal 7.8.1
13.	Periode alami struktur	SNI 1726:2019	Pasal 7.8.2
14.	Distribusi vertikal gaya seismik	SNI 1726:2019	Pasal 7.8.3
15.	Distribusi horizontal gaya gempa	SNI 1726:2019	Pasal 7.8.4
16.	Analisis ragam spektrum respons	SNI 1726:2019	Pasal 7.9.1.1
17.	Pembebanan dan Kombinasi Pembebanan	SNI 1727:2020	

Sumber: SNI 1726:2019, SNI 1727:2020

2.6 Implementasi RSAP Dalam Optimalisasi *Quantity Analysis*

Robot Structural Analysis Professional (RSAP) merupakan *software* yang dapat digunakan dalam menganalisis suatu bangunan terutama pada bagian struktur bangunan. RSAP sudah terintegrasi oleh BIM sehingga mampu dalam menganalisis analisis statik dan dinamik pada model bangunan yang direncanakan sehingga dapat mensimulasikan bagaimana respon struktur bangunan terhadap getaran akibat gempa bumi ataupun kondisi lainnya. Selain menilai kinerja struktur bangunan RSAP dapat melakukan analisis kebutuhan material pada bangunan yang dapat dilakukan secara otomatis. (Hanggara and Nurchasanah, 2023).

2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai referensi yaitu oleh Jiwane dan MahaLLe (2024) yang telah melakukan penelitian analisis perbandingan kinerja seismik bangunan *circular* dan *rectangular* pada gedung dengan luas area 750 m² dan jumlah lantai 15 lantai atau 48 m menggunakan *software* STAAD Pro. Hasil penelitian ini dengan melakukan analisis respon spektrum pada pembebanan gempa zona V yang secara keseluruhan analisis menunjukkan bahwa bangunan

rectangular cenderung mengalami perpindahan yang lebih tinggi dan reaksi tumpuan pada sebagian besar arah, sedangkan bangunan *circular* menunjukkan momen lentur dan geser dasar yang lebih tinggi. Sehingga bangunan *circular* memiliki stabilitas yang lebih baik di bawah beban gempa.

Dhande and Sinha (2023) telah melakukan analisis perbandingan mengenai single column pada bangunan berbentuk *rectangular*, *circular* dan persegi dengan menggunakan *software* STADD Pro pada gedung 12 lantai. Kesimpulan dari hasil penelitian ini dengan membuat pemodelan struktur 3D di *software* STADD Pro hasil yang di dapat dalam analisis beban gempa, hasil *displacement* arah x menunjukkan pada bangunan *rectangular* sebesar 255,039 mm sedangkan bangunan *circular* sebesar 171,467 mm dengan *loading column*.

Muhammad Hilmi et al., (2021) telah melakukan penelitian terhadap kinerja struktur gedung 6 lantai di Kota Bogor (CRC) dilakukan menggunakan metode respons spektrum berdasarkan SNI 1726:2019 dengan bantuan *software* RSAP. Hasil menunjukkan partisipasi massa struktur melebihi 90%, nilai periode dan gaya geser dasar memenuhi ketentuan, serta *drift ratio* mengindikasikan kinerja *Immediate Occupancy* (IO). Pengaruh P-Delta masih dalam batas aman, sehingga struktur dinyatakan stabil.

(Hasyim et al., 2023) telah melakukan Pemanfaatan *Robot Structural Analysis Professional* (RSAP) telah diterapkan dalam upaya optimalisasi analisis kuantitas pada proyek bangunan bertingkat. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa volume beton yang dibutuhkan untuk struktur kolom mencapai 94,02 m³, untuk struktur balok sebesar 984,85 m³, dan pada struktur pelat sebesar 609,63 m³.

Berdasarkan gap kajian ilmiah yang telah dilakukan oleh penelitian terdahulu tersebut disimpulkan bahwa penelitian ini akan membahas terkait kinerja seismik bangunan berbentuk *circular* di Kota Padang serta pengaruh tinggi bangunan dan kebutuhan material yang digunakan dengan bantuan *software Robot Structural Analysis Profesional* (RSAP).