

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Bumi dibagi menjadi beberapa lempeng yang terus menerus bergerak. Lempeng-lempeng bumi yang terus bergerak itu menghasilkan tekanan yang melepaskan energi. Semakin lama tekanan yang melepaskan energi itu semakin besar sehingga dapat melepaskan energi yang sangat besar pada permukaan bumi dan dapat mengakibatkan getaran yang biasa disebut gempa bumi. Getaran ini nantinya akan menimbulkan gaya-gaya pada struktur bangunan karena pada dasarnya struktur mempunyai gaya untuk mempertahankan dirinya dari gerakan.

Gempa bumi merupakan salah satu beban bangunan yang dapat menyebabkan kerusakan pada struktur bangunan terutama pada gedung bertingkat banyak. Menurut Mc.Cormak (1995), dalam membangun sebuah bangunan hal yang sangat perlu diperhatikan adalah bangunan yang dapat memadai untuk memberikan keamanan terutama pada lantai atas. Semakin tinggi bangunan, semakin besar pula defleksi lateral yang terjadi pada lantai atas.

Menurut UBC (1997), dalam mendesain bangunan tahan gempa bertujuan untuk mencegah terjadinya kegagalan pada struktur dan mencegah terjadinya kehilangan korban jiwa, Adapun tiga standar kriteria menurut UBC (1997) sebagai berikut:

- a. Pada gempa kecil tidak terjadinya kerusakan sama sekali pada struktur
- b. Pada gempa sedang, kerusakan arsitektural diperbolehkan, namun bukan pada kerusakan struktural
- c. Pada gempa kuat, kerusakan struktural dan non-struktural diperbolehkan, namun tidak sampai menyebabkan bangunan runtuh.

Dalam perencanaan bangunan struktur dengan tingkat keamanan yang memadai yang mempunyai ketahanan terhadap gempa, struktur harus dirancang untuk dapat memikul gaya horizontal atau gaya gempa dan yang harus diperhatikan adalah bahwa struktur bangunan dapat memberikan layanan yang sesuai dengan perencanaan. Menurut T. Paulay (1998) tingkat layanan dari struktur dengan gaya gempa terdiri dari tiga, yaitu:

1. Kemampuan Layanan / *Serviceability*

Pada saat terjadi gempa dengan intensitas percepatan tanah yang kecil dalam waktu ulang yang besar mengenai struktur, disyaratkan untuk tidak mengganggu fungsi dari bangunan tersebut, seperti aktivitas yang normal pada bangunan dan perlengkapan yang memadai. Artinya tidak dibenarkan jika ada terjadinya kerusakan pada struktur baik pada komponen struktur maupun pada elemen non struktur. Dalam perencanaan struktur bangunan harus diperhatikan pada kontrol dan batas simpangan (*drift*) yang dapat terjadi pada saat gempa, serta menjamin kekuatan yang cukup untuk menahan gempa dan diharapkan struktur bangunan masih berperilaku elastis.

2. Kontrol Kerusakan

Pada saat terjadinya gempa pada struktur dengan waktu ulang sesuai dengan umur atau masa rancangan bangunan, maka direncanakan struktur untuk dapat menahan gempa ringan maupun gempa kecil tanpa terjadinya kerusakan pada komponen maupun komponen non struktur, dan struktur diharapkan masih dalam batas elastis.

3. Ketahanan / *Survival*

Pada saat terjadi gempa yang kuat yang mungkin terjadi pada umur atau masa rancangan bangunan, maka struktur direncanakan untuk dapat bertahan dengan tingkat kerusakan besar namun tanpa mengakalmi kerusakan dan keruntuhan (*collapse*) pada struktur bangunan. Pada keadaan batas ini tujuan utamanya adalah untuk menyelamatkan jiwa manusia.

Menurut *Applied Technology Council (ATC)-40*, struktur tahan gempa memiliki kriteria-kriteria sebagai berikut:

1. Hunian Langsung / *Immediate Ocupancy (IO)*

Bila terjadinya gempa, struktur mampu menahan gempa dan tidak mengalami kerusakan struktural maupun non struktural sehingga bangunan dapat langsung dipakai setelah terjadinya gempa.

2. Keselamatan / *Life Safety (LS)*

Pada terjadinya gempa, struktur Gedung harus mampu menahan gempa sedang tanpa mengalami kerusakan struktur, meskipun terdapat kerusakan pada elemen non-struktur.

3. Ketahanan Keruntuhan / *Collapse Pervention (CP)*

Struktur harus dapat menahan gempa yang besar tanpa terjadinya keruntuhan struktural meskipun struktur bangunan telah mengalami rusak berat, artinya kerusakan struktural boleh terjadi namun harus dihindari adanya korban jiwa.

Sedangkan menurut SNI-1726-2002 pasal 1.3 dalam perencanaan ketahanan gempa untuk struktur gedung bertujuan untuk:

- a. Menghindari terjadinya korban jiwa manusia oleh runtuhnya Gedung akibat gempa yang kuat;
- b. Membatasi kerusakan gedung akibat gempa ringan sampai sedang, sehingga masih dapat diperbaiki;
- c. Membatasi ketidaknyamanan pengunian bagi penghuni gedung Ketika terjadi gempa ringan sampai sedang;
Mempertahankan setiap layanan vital dari fungsi Gedung

2.2 Perangkat Seismik / *Seismic Device*

Ada situasi di mana pendekatan desain konvensional tidak dapat diterapkan. Ketika suatu struktur harus tetap berfungsi setelah gempa bumi, seperti halnya struktur penting (rumah sakit, kantor polisi, dll.), pendekatan desain konvensional tidak tepat. Untuk kasus seperti itu, struktur dapat dirancang dengan kekuatan yang cukup sehingga aksi inelastis dapat dicegah atau minimal; namun memiliki pendekatan yang sangat mahal. Selain itu, dalam struktur seperti itu, tindakan pencegahan khusus perlu diambil dalam

pengamanan terhadap kerusakan atau kegagalan sistem sekunder yang penting, yang diperlukan untuk kelangsungan servis.

Selain itu, sejumlah besar struktur yang lebih tua memiliki kekuatan lateral yang tidak mencukupi dan tidak memiliki detail yang diperlukan untuk perilaku duktail. Perkuatan seismik dari struktur ini diperlukan dan dapat dicapai dengan desain seismik konvensional, meskipun seringkali Desain Seismik dengan biaya yang signifikan dan dengan gangguan fitur arsitektur yang tidak diinginkan. Yang terakhir adalah pertimbangan penting dalam retrofit seismik struktur bersejarah dengan fitur arsitektur penting.

Prosedur desain alternatif telah dikembangkan yang menggabungkan sistem pelindung gempa dalam struktur. Sistem ini dapat berbentuk sistem isolasi seismik atau perangkat disipasi energi tambahan. Pemeriksaan perilaku dan efek dari sistem ini dapat dimulai dengan pertimbangan distribusi energi dalam suatu struktur. Selama peristiwa seismik, sejumlah energi yang terbatas dimasukkan ke dalam struktur. Energi masukan ini diubah menjadi energi kinetik dan energi potensial (regangan) yang harus diserap atau dihilangkan melalui panas. Jika tidak ada redaman, getaran akan ada sepanjang waktu. Namun, selalu ada beberapa tingkat redaman yang melekat yang menarik energi dari sistem dan karena itu mengurangi amplitudo getaran sampai gerakan berhenti. Kinerja struktural dapat ditingkatkan jika sebagian energi input dapat diserap, bukan oleh struktur itu sendiri, tetapi oleh beberapa jenis perangkat tambahan. Hal ini diperjelas dengan mempertimbangkan kekekalan hubungan energi (Uang dan Bertero, 1988) yang dapat dilihat di persamaan 2.1:

$$E(t) = E_k(t) + E_s(t) + E_h(t) + E_d(t) \quad \dots(\text{Pers 2.1})$$

Dimana:

E = Input energi absolut yang masuk dari pergerakan gempa,

E_k = Energi kinetik absolut,

E_s = Energi regangan elastis pemulihan (*recoverable*),

E_h = Energi yang tidak dapat dipulihkan yang dihamburkan oleh sistem struktur melalui aksi inelastis atau bentuk lain,

E_d = Dissipasi energi melalui perangkat redaman tambahan,

t = Merepresentasikan fungsi waktu

Disipasi energi dalam sistem isolasi kemudian berguna dalam membatasi respon perpindahan dan dalam menghindari resonansi. Namun, pada gempa bumi yang kaya akan komponen periode panjang, tidak mungkin memberikan fleksibilitas yang cukup untuk pemantulan energi gempa. Dalam hal ini, penyerapan energi memegang peranan penting.

Untuk mengatasi kerusakan-kerusakan yang terjadi pada struktur bangunan yang diakibatkan gempa kini muncul berbagai upaya dengan memberikan alat tambahan pada struktur bangunan yang bertujuan untuk membatasi atau mendissipasi energi gempa yang masuk ke dalam struktur. Alat-alat ini dikenal dengan *Seismic Device*. Dengan menambah *seismic device* pada struktur, energi gempa yang mempengaruhi struktur dapat direduksi dan dikontrol sehingga gaya-gaya dan simpangan struktur menjadi minim, dengan demikian bangunan dapat direncanakan dalam keadaan lebih elastis jika terjadinya gempa yang cukup besar namun dengan biaya yang cukup ekonomis.

Seismic Device pada umumnya dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu:

1. *Active Seismic Device*
2. *Passive Seismic Device*
3. *Based Isolator Device*

Active seismic device bekerja pada saat terjadinya gempa dengan menerima getaran dari sensor yang dipasang disekeliling struktur, melalui *computer data* dari sensor tersebut digunakan untuk mengatur besarnya gaya gempa yang dibutuhkan untuk melawan gaya gempa yang terjadi sesuai dengan input gempa ke struktur bangunan, namun jenis ini memerlukan perawatan yang cukup mahal.

Based isolator device terbuat dari bantalan karet, bantalan karet ini tergolong murah dan bukan merupakan alat teknologi tinggi. Bantalan karet ini dibuat dari kombinasi lempengan karet alam dan lempengan baja. Bantalan

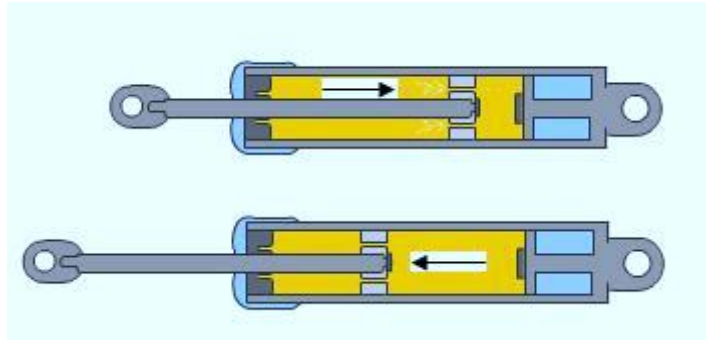
karet tersebut dipasang disetiap kolom yaitu diantara pondasi dan bangunan. Karet alam berfungsi untuk mengurangi getaran yang diakibatkan oleh gempa bumi, sedangkan lempengan baja digunakan untuk menambah kekakuan pada bantalan karet sehingga penurunan bangunan saat bertumpu diatas bantalan karet tidak besat.

Passived seismic device bekerja atau bereaksi setelah energi pada gempa masuk ke struktur, pada umumnya reaksi *seismic device* ini semakin besar bila response struktur yang terjadi atau energi yang masuk ke struktur semakin besar. Pada umumnya *passive seismic device* adalah jenis yang sering digunakan dikarenakan metode yang digunakan lebih praktis diterapkan pada struktur bangunan dan biaya yang dibutuhkan terbilang cukup murah dibandingkan dengan jenis *seismic device* lain. Secara garis besar *seismic device* jenis ini dibagi menjadi 2 sesuai dengan fungsinya, yaitu yang bersifat isolasi dan yang bersifat dissipasi energi. Jenis pertama biasa disebut *seismic isolator* dan yang kedua disebut *Damper*. *Damper* dibagi menjadi beberapa tipe yaitu *friction damper*, *PVD damper*, *pall friction damper*, *metallic damper*, *mass damper*, *viscous fluid damper*, dll. Pada penelitian ini digunakan *Passive seismic device* dengan tipe *Viscous Fluid Damper*.

2.3 Viscous Fluid Damper

Viscous Fluid Dampers adalah suatu alat tambahan yang diaplikasikan pada struktur bangunan yang digunakan untuk meredam gaya dinamis yang bekerja pada struktur bangunan seperti beban gempa dan beban angin. Alat ini bekerja dengan cara menambah energi disipasi pada system lateral struktur bangunan. Peredam ini bekerja dengan menghilangkan energi dengan cara mendorong cairan/fluida melalui sebuah *orifices* dan menghasilkan sebuah tekanan guna menciptakan sebuah gaya redaman.

Cara kerja *Viscous Fluid Damper* yaitu dengan membatasi pergerakan dengan cara memberikan perlawanan gaya. Gaya yang diberikan pada VFD timbul yang diakibatkan adanya gaya luar yang berlawanan arah bekerja pada alat tersebut. Dalam mendisipasikan energi, alat ini menggunakan konsep mekanika fluida yang dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2. 1 Konsep Kerja Viscous Fluid Damper
(sumber:https://www.researchgate.net/publication/266176805_State_of_the_art_in_the_ponding_mitigation_techniques)

Viscous Fluid Damper terdiri dari silinder tertutup yang berisi cairan kental seperti minyak. Batang piston terhubung ke kepala piston dengan lubang kecil di dalamnya. Pertama, piston bergerak di dalam silinder, kemudian oli dipaksa mengalir melalui lubang di kepala piston, menyebabkan gesekan. Ketika peredam dipasang di sebuah bangunan, gesekan mengubah sebagian energi gempa yang masuk ke bangunan yang bergerak menjadi energi panas. Gaya tergantung pada ukuran dan bentuk lubang dan viskositas minyak.

Jika kita menambahkan *Fluid Viscous Damper* ke struktur bangunan, gaya redaman akan turun menjadi nol pada titik defleksi maksimum ini. Ini karena kecepatan langkah peredam menjadi nol saat kolom berbalik arah. Saat bangunan melentur kembali ke arah yang berlawanan, gaya peredam maksimum terjadi pada kecepatan maksimum, yang terjadi ketika kolom menekuk melalui posisi tegak lurus normalnya. Ini juga merupakan titik di mana tegangan kolom minimal. Respon di luar fase inilah yang merupakan aspek desain yang paling diinginkan dari *viscous fluid damper*.

Alat dissipasi energi seperti Damper berfungsi untuk memperkecil respon simpangan struktur juga dapat mengentikan getaran, agar simpangan-simpangan pada antar tingkat dapat diperkecil sehingga dapat memperkecil gaya lateral kolom.

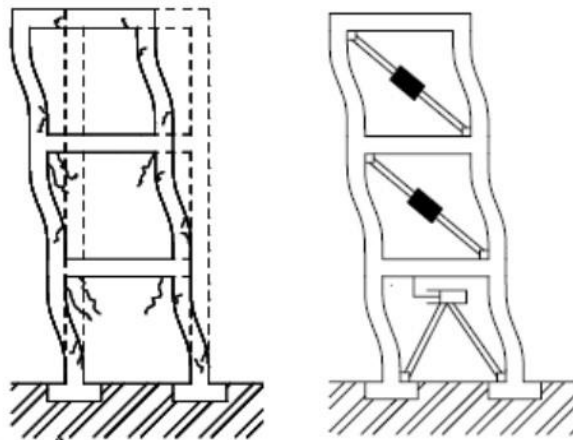
Damping dalam struktur biasa disebut juga sebagai *inherent damping*, yaitu damping yang berasal dari gesekan pada antar struktur dengan pada bagian non struktur, geseran udara dan pada tutup bukannya pada penampang beton

yang retak, dan plastisitas bahan yang terjadi setelah struktur mengalami deformasi. Besarnya damping tersebut tergantung pada jenis dan kekakuan struktur sekitar 1% sampai 5%.

Viscous Fluid Damper memiliki beberapa kelebihan, yaitu:

1. Dapat mereduksi tegangan, gaya geser dan defleksi pada struktur bangunan
2. Instalasi mudah
3. Keandalan dan umur yang Panjang
4. VFD memungkinkan struktur untuk memusatkan Kembali dirinya dengan sempurna setiap saat
5. Hampir bebas perawatan
6. Bekerja secara pasif (tidak membutuhkan peralatan/sumber daya dalam pemakaiannya)

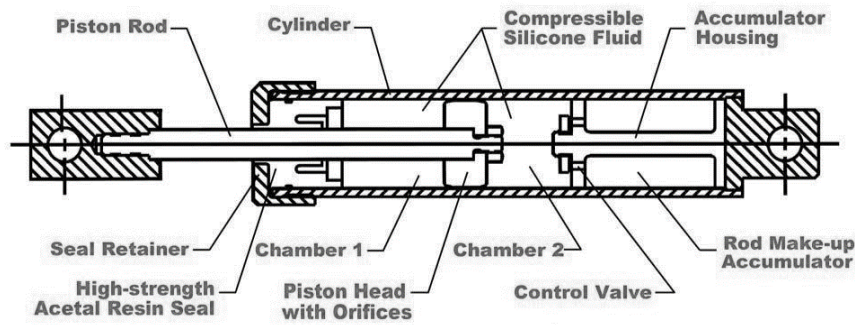
Pada Gambar 2.2 dapat dilihat perbandingan antara bangunan konvensional dan bangunan yang menggunakan *Viscous Fluid Damper*.



Gambar 2. 2 Perilaku Gedung yang menggunakan Viscous Fluid Damper
(sumber: Moreschi, Luis M. 2000)

2.3.1 Bagian-bagian *Viscous Fluid Damper*

Elemen desain penting pada *Viscous Fluid Damper* relatif sedikit. Namun, perincian elemen-elemen ini sangat bervariasi dan dalam beberapa kasus dapat menjadi sulit dan kompleks. Pada Gambar 2.3 menggambarkan bagian-bagian dari *Viscous Fluid Damper*.



Gambar 2. 3 Bagian-bagian Viscous Fluid Damper
(sumber: Taylor, D. 1999)

1. Batang Piston (*Piston Rod*)

Secara umum, batang piston harus bereaksi terhadap semua gaya redaman, ditambah menyediakan antarmuka penyegelan dengan segel. Karena batang piston relatif ramping dan harus mendukung kondisi pembebanan kolom, batang piston biasanya dibuat dari bahan baja berkekuatan tinggi. Baja tahan karat lebih disukai sebagai bahan batang piston, karena segala jenis karat atau korosi pada permukaan batang dapat menyebabkan kegagalan segel yang fatal. Selain itu, desain batang piston harus berbasis regangan, bukan berbasis tegangan, karena pelenturan elastis batang piston selama kompresi damper dapat menyebabkan kebocoran pengikatan atau segel

2. Silinder (*Cylinder*)

Silinder peredam berisi media fluida dan harus menerima pembebanan bejana tekan saat peredam beroperasi. Silinder biasanya dibuat dari pipa baja mulus. Konstruksi yang dilas atau dicor tidak diperbolehkan untuk silinder peredam, karena kekhawatiran tentang umur kelelahan dan keretakan tegangan

3. Cairan (*Fluid*)

Peredam yang digunakan dalam aplikasi rekayasa struktural memerlukan cairan yang tahan api, tidak beracun, stabil secara termal, dan tidak akan terdegradasi seiring bertambahnya usia. Satu-satunya cairan yang memenuhi semua kriteria tersebut adalah jenis *silicone*. *Silicone* yang digunakan memiliki titik nyala (*flashpoint*) lebih dari 340°C, cairan *silicone* yang digunakan pada peredam ini sebenarnya identik dengan

silicone yang umum digunakan dalam kosmetik seperti krim tangan dan wajah benar-benar tidak beracun, dan merupakan salah satu cairan paling stabil secara termal yang dikenal manusia

4. Segel (*Seal*)

Segel yang digunakan dalam peredam cairan harus mampu bertahan lama, minimal 25 tahun tanpa memerlukan penggantian berkala. Bahan segel harus dipilih dengan hati-hati untuk persyaratan masa pakai ini dan untuk kompatibilitas dengan cairan peredam. Karena peredam dalam struktur sering digunakan dalam jangka waktu lama, segel tidak boleh menunjukkan pelekatan jangka panjang atau memungkinkan rembesan cairan secara lambat.

5. Kepala Piston (*Piston Head*)

Kepala piston menempel pada batang piston, dan secara efektif membagi silinder menjadi dua ruang tekanan. Dengan demikian, kepala piston berfungsi untuk menyapu cairan melalui lubang yang terletak di dalamnya, sehingga menghasilkan tekanan redaman. Kepala piston biasanya sangat pas dengan lubang silinder; dalam beberapa kasus kepala piston bahkan dapat memasukkan segel ke lubang silinder.

6. Penahan Segel / *Seal Retainer*

Digunakan untuk menutup ujung silinder yang terbuka, lebih disukai menggunakan ulir berdiameter besar yang dipasang pada permukaan luar atau dalam silinder untuk memasang penahan segel.

7. Aki / *Accumulator*

Berfungsi untuk mengontrol laju pergerakan batang piston (*piston rod*) saat masuk atau keluar pada saat peredam bekerja. Fungsi lainnya bertujuan untuk menyeimbangkan temperature dan penyusutan pada cairan.

8. Lubang / *Orifices*

Aliran bertekanan fluida di kepala piston (*Piston Head*) dikendalikan oleh *Orifices*.

2.3.2 Kekakuan Pada *Viscous Fluid Damper*

Kekakuan pada *Viscous Fluid Damper* menurut Douglas P. Taylor dapat dilihat pada persamaan 2.2 dibawah ini:

$$K = \frac{AE}{L} \quad \dots(\text{pers 2.2})$$

Keterangan,

K = kekakuan *Viscous Fluid Damper* (kg/m),

A = Luas selimut *Viscous Fluid Damper* (m²)

E = Modulus elastisitas (Kg/ m²)

L = Panjang *Viscous Fluid Damper* (m)

2.3.3 Kekakuan Pada *Viscous Fluid Damper*

Viscous Fluid Damper mempunyai keunikan yaitu mampu memperkecil defleksi dan tegangan secara bersamaan. Hal ini dikarenakan gaya yang dimiliki *Viscous Fluid Damper* bervariasi hanya dengan kecepatan gerakanya yang dapat menghasilkan respon yang langsung berhubungan terhadap tegangan lentur struktur. *Viscous Fluid Damper* memiliki bentuk umum dari gaya redaman yang diinput untuk analisis struktur yang dapat dilihat pada persamaan 2.3 berikut ini:

$$Fd = C \dot{x}^\alpha \quad \dots(\text{pers 2.3})$$

Keterangan,

Fd = Gaya peredam,

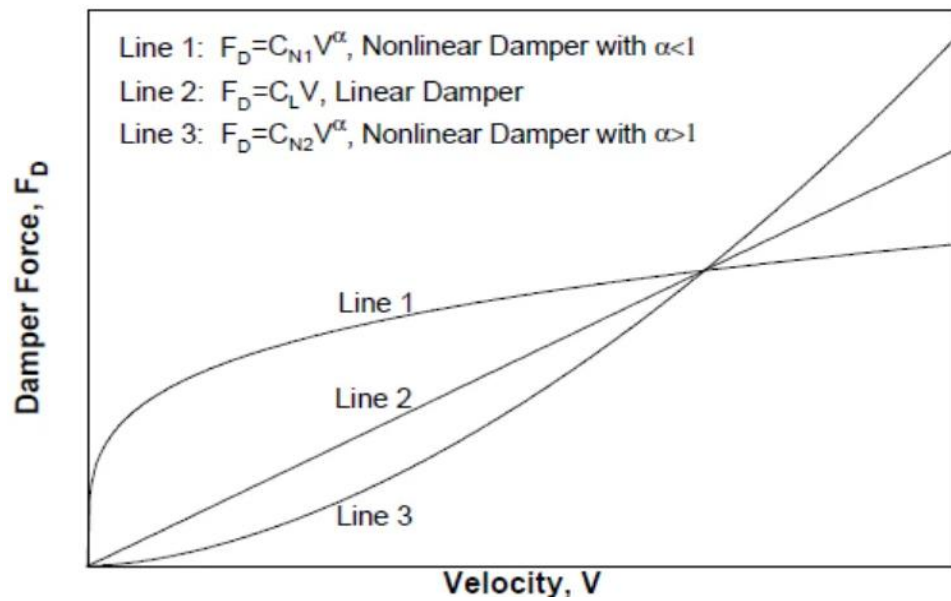
C = konstanta peredam,

\dot{x} = kecepatan elemen dari ujung ke ujung,

α = koefisien kecepatan peredam

Koefisien α merupakan eksponen dengan nilai spesifik dalam rentang 0,3 sampai dengan 1,0. Rentang nilai α untuk struktur dengan *design seismic* adalah 0,4 sampai dengan 0,5. Nilai koefisien α dapat mempengaruhi

kelinieran pada gaya peredam, peredam dengan $\alpha = 1$, disebut *viscous damper* dengan $\alpha > 1$ dan $\alpha < 1$ disebut dengan *viscous damper non liner*, yang efektif untuk menimmalkan guncangan dengan kecepatan yang tinggi. Grafik hubungan gaya peredam dan kecepatan peredam dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Grafik hubungan Gaya Peredam dengan Kecepatan Peredam

(sumber: Jenn-Shin Hwang, 2001)

2.4 Analisis Dinamik

Analisis dinamik pada perancangan struktur tahan gempa dapat dilakukan jika diperlukannya evaluasi yang lebih akurat pada gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur, serta untuk dapat mengetahui perilaku dari struktur tersebut akibat adanya pengaruh gempa. Pada struktur bangunan bertingkat tinggi atau struktur dengan bentuk yang tidak teratur. Analisis dinamik dapat dilakukan dengan cara elastis ataupun dengan inelastis namun Analisis dinamik elastis lebih sering digunakan karena metodenya yang lebih sederhana. Pada cara elastis dibedakan dengan Analisis Ragam waktu atau biasa disebut analisis *Time History*, dimana cara ini diperlukan rekaman percepatan gempa dan dapat juga dilakukan dengan cara Analisis Ragam Spektrum Respon, dimana cara ini respon maksimum pada tiap ragam getar terjadi yang dihasilkan dari Spektrum Respon Rencana (*Design Spectra*). Pada analisis dinamis elastis digunakan

untuk mendapatkan respon pada struktur akibat adanya pengaruh gempa yang sangat kuat dengancara integrasi langsung (*Direct Integration Method*).

Analisis dinamik dilakukan untuk menentukan pembagian gaya geser tingkat yang diakibatkan oleh Gerakan tanah dari gempa dan dapat dilakukan dengan cara analisis ragam respon spektrum. Pembagian gaya geser tingkat tersebut dimaksudkan untuk menggantikan pembagian beban static ekuivalen. Pada analisis ragam respon spektrum, sebagai spektrum percepatan respon gempa rencana harus dipakai diagram koefisien gempa dasar (C) untuk masing-masing wilayah gempa. Nilai C tersebut tidak berdimensi sehingga respon masing-masing ragam merupakan respon relative.

Untuk bangunan gedung dengan struktur yang tidak beraturan yang memiliki waktu getar alami yang berdekatan diharuskan untuk dilakukan dengan metoda yang biasa dikenal dengan kombinasi kuadrat lengkap (*Complete Quadratic Combination* atau CQC). Waktu getar alami harus dianggap berdekatan apabila terdapat selisih dengan nilai kurang dari 15%. Untuk Gedung dengan struktur yang tidak beraturan yang memiliki waktu getar alami yang berjauhan, penjumlahan respon ragam tersebut dapat dilakukan dengan metode SRS (*Square Root of the Sum of Squares*) atau biasa dikenal dengan metode Akar Jumlah Kuadrat (SNI 03-1726-2002)

2.5 Sistem Struktur

Dalam Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan gempa (SNI 03-1726-2002) telah ditetapkan untuk jenis system struktur dasar, yaitu:

1. Sistem dinding penumpu, yaitu system struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Hampir semua beban gravitasi dipikul oleh dinding penumpu atau system bresing. Sedangkan dinding geser atau rangka bresing memikul beban lateral.
2. Sistem rangka Gedung, yaitu sistem struktur yang pada dasarnya memiliki secara lengkap ruang pemikul beban gravitasi. Dinding geser atau rangka bresing memikul beban lateral.

3. Sistem rangka pemikul momen, yaitu sistem struktur yang memiliki ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Melalui mekanisme lentur beban lateral dipikul rangka pemikul momen.
4. Sistem ganda, yaitu sistem yang terdiri dari rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi, pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen. Sekurang-kurangnya 25% rangka pemikul momen dari seluruh beban lateral harus direncanakan mampu memikul beban lateral, dan kedua sistem harus direncanakan memikul beban lateral secara Bersama-sama dengan memperhatikan interaksi sistem ganda.

Selain itu, dalam SNI 03-1726-2002 juga mengenalkan sistem struktur lainnya yaitu sistem struktur Gedung kolom kantilever, sistem interaksi dinding geser dengan rangka, dan juga sub sitem tinggal.

2.6 Data-Data Penelitian

2.6.1 Pembebanan

Berdasarkan SNI 1727:2020 beban yang digunakan untuk beban minimum untuk perencanaan bangunan Gedung dan struktur lain, yaitu:

1. Beban Hidup (LL)

Beban Hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi itu sendiri dan beban lingkungan seperti beban gempa, beban angin, beban hujan, beban mati ataupun beban banjir. Pemilihan beban hidup pada perencanaan struktur berdasar dari fungsi bangunannya itu sendiri. Beban hidup pada lantai Gedung harus diambil menurut Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Beban hidup pada lantai gedung (SNI 1727-2020).

Hunian atau Penggunaan	Beban Merata psf (kN/m ²)	Beban terpusat lb (kN)
Apartemen dan hotel(lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses		
Ruang kantor	50 (2.4)	2000 (8.9)
Ruang computer	100 (4.79)	2000 (8.9)
Gudang persenjataan dan ruang Latihan	150 (7.18)	
Ruang pertemuan	60 (2.87)	
Kursi tetap (terikat dilantai)	100 (4.79) ^a	
Lobi	100 (4.79) ^a	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4.79) ^a	
Panggung pertemuan	100 (4.79) ^a	
Lantai podium	150 (7.18)	
	60 (2.87)	
Tribun penonton stadion dan arena dengan kursi tetap		
Ruang pertemuan lainnya	100 (4.79)	
Balkon dan dek	1.5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4.79 kN/m ²)	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1.92)	300 (1.33)
Koridor		
Lantai pertama	100 (4.79)	
Lantai lain	Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	
Ruang makan dan restoran	100 (4.79) ^a	
Hunian (lihat rumah tinggal)		
R. mesin elevator (pada daerah 2inx2in [50 mmx50 mm])		300 (1.33)
Konstruksi pelat lantai <i>finishing</i> ringan (pada area 1inx1in. [25 mmx 25mm])		200 (0.89)
Jalur penyelamatan terhadap kebakaran Hunian satu keluarga saja	100 (4.79) 40 (1.92)	

Tangga permanen	SNI-1727-20120 pasal 4.5.4	
Garasi/parkir Mobil penumpang saja Truk dan bus	40 (1.92) Lihat pasal 4.10.2	
Susunan tangga, rel pengamandan batang pegangan	Lihat pasal 4.5.1	

Hunian atau Penggunaan	Beban Merata psf (kN/m ²)	Beban terpusat lb (kN)
Helipad (lihat pasal 4.11) Helicopter dengan berat lepas landas sebesar 3.000 lb (13,35 kN) atau kurang Helicopter dengan berat lepas landas lebih dari 3.000 lb (13,35 kN)	40 (1,92) 60 (2,87)	
Rumah sakit: Ruang operasi laboratorium Ruang pasien Koridor diatas lantai pertama	60 (2.87) 40 (1.92) 80 (3.83)	1000 (4.45) 1000 (4.45) 1000 (4.45)
Perpustakaan Ruang baca Ruang penyimpanan Koridor diatas lantai pertama	60 (2.87) 150 (7.18) ^{a,h} 80 (3.83)	1000 (4.45) 1000 (4.45) 1000 (4.45)
Pabrik Ringan Berat	125 (6.00) ^a 250 (11.97) ^a	2000 (8.9) 3000 (13.4)
Gedung perkantoran Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian Lobi dan koridor lantai pertama kantor koridor diatas lantai pertama	100 (4.79) 50 (2.4) 80 (3.83)	2000 (8.9) 2000 (8.9) 2000 (8.9)
Lembaga hukum Balok sel Koridor	40 (1.92) 100 (4.79)	
Atap Atap datar, berbubung, dan lengkung Atap yang digunakan penghuni	20 (0,96) Sama dengan penggunaan yang dilayani	

Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,70)	
Atap vegetative dan lansekap	20 (0,96)	
Atap bukan untuk hunian	100 (4,79)	
Atap untuk tempat berkumpul	Sama dengan	
Atap untuk penggunaan lainnya	penggunaan yang dilayani	

Berhubungan adanya peluang untuk beban hidup penuh yang membebani semua bagian dari semua unsur struktur pemikul secara serempak selama umur Gudang tersebut adalah sangat kecil, maka beban tersebut dianggap sepenuhnya tidak efektif, sehingga beban hidup terbagi rata dan dapat dikalikan dengan suatu koefisien reduksi. Pada pasal 4.7.2 menurut SNI 1727:2020, bahwa koefisien reduksi beban hidup dapat dilihat pada Pers 2.4 berikut.

$$L = L_0 \left(0,25 + \frac{15}{\sqrt{K_{LL}A_T}} \right) \quad (\text{pers 2.4})$$

Dalam SI :

$$L = L_0 \left(0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{K_{LL}A_T}} \right) \quad (\text{pers 2.4-SI})$$

Dimana :

L = beban hidup rencana tereduksi yang didukung oleh komponen struktur

L₀ = beban hidup desain tanpa reduksi

K_{LL} = faktor elemen beban hidup

A_T = luas tributary struktur bangunan

L tidak boleh kurang dari 0,50 L₀ untuk komponen struktur yang mendukung satu lantai dan L tidak boleh kurang dari 0,40 L₀ untuk komponen struktur yang mendukung dua lantai atau lebih dari dua lantai.

Tabel 2.2 Faktor elemen beban hidup, K_{LL} (SNI 1721:2020)

Elemen	K_{LLa}
Kolom interior	4
Kolom eksterior tanpa pelat kantilever	4
Kolom-kolom tepi dengan pelat kantilever	3
Kolom-kolom sudut dengan pelat kantilever	2
Balok-balok tepi tanpa pelat-pelat kantivaler	2
Balok-balok interior	2
Semua komponen struktur yang tidak disebut diatas: Balok-balok tepi dengan pelat-pelat kantiveler Balok-balok kantilever Pelat-pelat satu arah Pelat-pelat dua arah Komponen struktur tanpa ketentuan-ketentuan untuk penyaluran Geser menerus tegak lurus terhadap bentangnya	1

Untuk beban hidup penuh tanpa dikalikan dengan koefisien reduksi harus ditinjau pada:

1. Lantai Gedung, perpustakaan, ruang arsip, dan ruang-ruang penyimpanan lain yang sejenis.
2. Lantai ruang yang memikul beban berat tertentu yang bersifat tetap, seperti mesin-mesin dan alat-alat.

2. Beban Mati (DL)

Beban mati adalah segala beban yang berasal dari bangunan itu sendiri, termasuk segala unsur tambahan tetap yang menjadi satu kesatuan dengan bangunan. Beban mati yang diperhitungkan terdiri dari berat kolom, berat balok dan berat pelat lantai maupun atap. Nilai berat bahan dan konstruksi yang digunakan adalah nilai yang disetujui oleh pihak berwenang, oleh karena itu berat bahan konstruksi diambil dari PPPURG 1987 yang dapat dilihat dalam Tabel 2.3

Tabel 2.3 Berat sendiri bahan bangunan dan komponen Gedung (PPPURG 1987).

BAHAN BANGUNAN	Berat Jenis
Baja	7.850 kg/m ³
Batu alam	2.600 kg/m ³
Batu pecah	1.450 kg/m ³
Besi tuang	7.250 kg/m ³
Beton	2.200 kg/m ³
Beton bertulang	2.400 kg/m ³
Kayu (Kelas I)	1.000 kg/m ³
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1.650 kg/m ³
Pasangan bata merah	1.700 kg/m ³
Pasangan batu cetak	2.200 kg/m ³
Pasir (kering udara sampai lembab)	1.600 kg/m ³
Pasir (jenuh air)	1.800 kg/m ³
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1.850 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1.700 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2.000 kg/m ³
<i>KOMPONEN GEDUNG</i>	
Adukan, per cm tebal:	
- dari semen	21 kg/m ²
- dari kapur, semen merah atau tras	17 kg/m ²
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14 kg/m ²
Dinding pasangan bata merah	
- satu bata	450 kg/m ²
Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa gordeng	10 kg/m ²
Penutup lantai dab ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24 kg/m ²
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11 kg/m ²

3. Beban Mati Tambahan (SDL)

Beban mati tambahan merupakan beban-beban yang bekerja vertical ke bawah pada struktur dan juga mempunyai karakteristik struktur

bangunan, contohnya penutup lantai, alat mekanis, dan partisi lainnya. Berat dari elemen-elemen ini pada umumnya dapat ditentukan dengan mudah dengan derajat ketelitian cukup tinggi. Perhitungan besarab beban mati suatu elemen dapat dilakudan dengan meninjau berat satuan material berdasarkan volume elemen.

4. Beban Gempa (EQ)

Beban gempa merupakan semua beban *static equivalent* yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari Gerakan tanah yang diakibatkan gempa. Dalam pengaruh akibat gempa pada suatu struktur gedung dapat ditentukan berasarkan suatu Analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya dalam struktur itu sendiri yang terjadi oleh Gerakan tanah akibat adanya gempa.

5. Beban Atap (R)

Beban atap adalah beban yang terjadi pada atap bangunan. Beban atap dapat ditentukan Ketika atap bangunan yang direncanakan sesuai dengan fungsi bangunannya.

2.6.2 Kombinasi Pembebanan

Pada SNI 1726:2019 diatur untuk kombinasi pembebanan untuk struktur, komponen, dan fondasi harus diarangcang sedemikian rupa sehingga kekuatan desainnya sama atau melebihi efek dari beban terfaktor dalam kombinasi berikut:

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5 L_r$ (atau R)
3. $1,2D + 1,6 L_r$ (atau R) + $1,0 L$ (atau $0,5W$)
4. $1,2D + 1,0W + L + 0,5 L_r$ (atau R)
5. $0,9D + 1,0 W$
6. $1,2 D + 1,0 E_v + 1,0 E_h + L$
7. $0,9D - E_v + 1,0 E_h$

Pengecualian: Faktor beban untuk L pada kombinasi 3, 4 dan 6 dapat diizinkan diambil sama dengan 0,5 untuk semua fungsi ruang apabila

beban hidup desain tak tereduksi (L_0) dalam SNI 1727-2020, atau lebih kecil atau sama dengan $4,78 \text{ kN/m}^2$, kecuali garasi atau ruang pertemuan public (1726-2019)

2.6.3 Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung dapat dilihat pada tabel 2.4 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu factor keutamaan gempa I_e yang dapat dilihat pada tabel 2.5 yang sudah diatur dalam SNI 1726-2019

Tabel 2.4 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung

Jenis pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung 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"> a. Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan b. Fasilitas sementara c. Gudang penyimpanan d. - 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"> a. Perumahan b. Rumah toko dan rumah kantor c. Pasar d. Gedung perkantoran e. Gedung apartemen/ rumah susun f. Pusat perbelanjaan/ mall g. Bangunan industri h. Fasilitas manufaktur i. Pabrik 	II
<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"> a. Bioskop b. Gedung pertemuan c. Stadion 	III

<ul style="list-style-type: none"> d. Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak e. Penjara f. 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"> a. Pusat pembangkit listrik biasa b. Fasilitas penanganan air c. Fasilitas penanganan limbah d. 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"> a. Bangunan-bangunan monumental b. Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan c. Rumah ibadah d. Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat e. Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya f. Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat g. Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat 	IV

<p>h. 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> <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV</p>	
---	--

(sumber: SNI 1726:2019)

Tabel 2.5 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)

2.7 Wilayah Gempa dan Spektrum Respons

2.7.1 Kelas Situs

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs maka situs harus diklasifikasikan sebagai kelas situs SA, SB, SC, SD, atau SF. Bila sifat-sifat tanah tidak dapat teridentifikasi secara jelas sehingga tidak dapat ditentukan kelas situs. Maka kelas situs SE dapat digunakan kecuali jika pemerintah/dinas yang berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs SF.

2.7.2 Koefisien-koefisien Situs dan Parameter-parameter Respons Spektral

Percepatan Gempa Maksimum

Untuk penentuan respon spectral percepatan gempa di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismic pada perioda 0,2 dan 0,1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_v). parameter

spektrum respons percepatan pada perida pendek (S_{MS}) yang dapat dilihat pada persamaan 2.4 dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang dapat dilihat pada persamaan 2.5 yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad \dots(\text{pers 2.4})$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad \dots(\text{pers 2.5})$$

Dimana;

S_s = parameter respon spectral percepatan gempa terpetakan untuk perioda pendek;

S_1 = parameter respons spectral percepatan gempa terpetakan untuk perioda 1,0 detik.

Koefisien situs F_a dan F_v diatur pada SNI 1726:2020 yang dapat dilihat pada tabel 2.7 dan tabel 2.8 berikut ini:

Tabel 2.6 koefisien situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9
SF	$SS^{(a)}$				

(Sumber: SNI 1726:2019)

Tabel 2.7 koefisien situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda 1 detik S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,7

SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,0
SF	SS ^(a)				

(Sumber: SNI 1726:2019)

2.7.3 Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spectral desai untuk perioda pendek S_{DS} , dan pada perioda 1 detik S_{D1} harus ditentukan melalui persamaan yang diatur pada SNI 1726:2012 berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad \dots(\text{pers 2.6})$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad \dots(\text{pers 2.7})$$

2.7.4 Spektrum Respon Desain

Jika desain respon spektrum diperlukan oleh tata cara dan prosedur gerak tanah dari spesifik situs tidak digunakan, maka kurva desain respon spektrum harus dikembangkan dengan mengacu gambar 2.5 dan juga mengikuti ketentuan berikut.

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 desain percepatan respon spektrum (S_a) harus diambil dari persamaan berikut;

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad \dots (\text{pers 2.8})$$

2. Jika periode lebih besar atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_s , desain percepatan respon spectral (S_a), sama dengan S_{DS} .
3. Jika periode lebih besar dari T_s namun lebih kecil dari ataupun sama dengan T_L , desain percepatan respon spectral (S_a), didapatkan berdasar persamaan berikut;

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad \dots (\text{pers 2.9})$$

4. Jika periode lebih besar dari T_L , desain percepatan respons spectral (S_a) diambil berdasar persamaan berikut;

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad \dots (\text{pers 2.10})$$

Keterangan :

S_{DS} = Parameter desain percepatan respon spectral pada

periode pendek

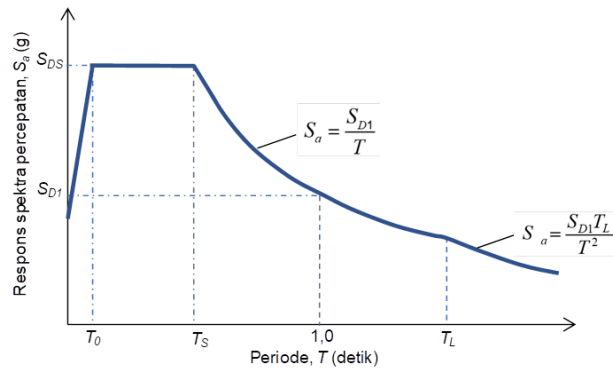
S_{D1} = Parameter desain percepatan respon spectral pada periode 1 detik

T = Periode getar fundamental struktur

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

$$T_0 = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

T_L = Peta Transisi periode Panjang yang ditunjukkan pada gambar 2.5 yang nilainya diambil dari Gambar 2.8



Gambar 2. 5 Spektrum Respon Desain

2.7.5 Kategori Desain Seismik

Dalam SNI 1726:2020 telah ditetapkan bahwa struktur harus memiliki suatu kategori desain seismic berdasarkan kategori resikoanya dan parameter respons spectral percepatan desainnya, yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.8 Kategori desain seismic berdasarkan parameter responspercepatan pada perida pendek

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 2.9 Kategori desain seismic berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	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)

2.7.6 Periode Fundamental Pendekatan

Pada pasal 7.8.2.1 SNI 1726:2020 telah ditentukan Periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, yang ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \quad \dots(\text{pers}2.11)$$

Dimana,

H_h adalah ketinggian struktur diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari tabel 2.9.

Tabel 2.10 Koefisien untuk batas atas pada perida yang dihitung

Parameter percepatan respons spectral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber: SNI 1726:2019)

Tabel 2.11 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

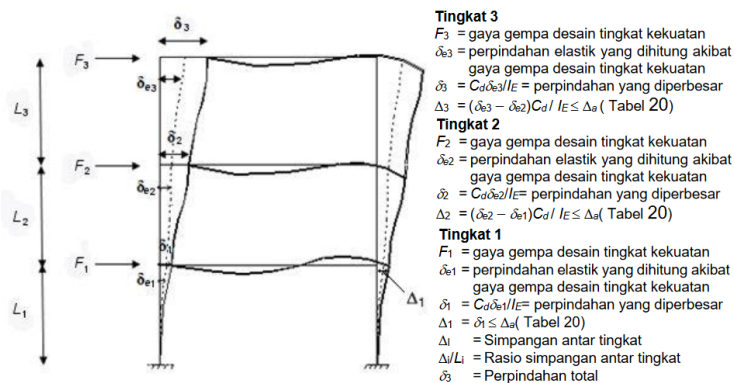
Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya gempa yang disyaratkan dan		

tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

(Sumber: SNI 1726:2019)

2.7.7 Penentuan Simpangan Antar Tingkat (SNI 1726-2019 Pasal 7.8.6)

Untuk menentukan simpangan antar tingkat desain (Δ) diharuskan dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau pada gambar 2.6. apabila pusat masa tidak berada segaris pada arah vertical, dapat diizinkan untuk menghitung simpangan pada dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertical dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan izin digunakan, Δ harus dihitung menggunakan gaya seismic desain yang ditetapkan dan tanpa reduksi untuk desain tegangan izin.



Gambar 2. 6 Simpangan Antar Tingkat

Simpangan pusat massa di tingkat $-x$ (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai persamaan berikut;

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

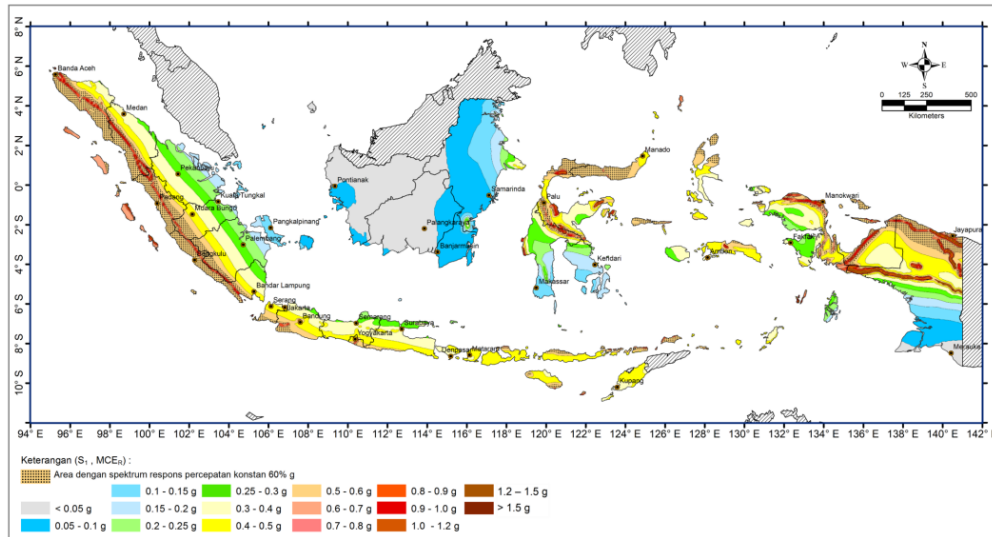
... (pers 2.12)

Keterangan:

C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral

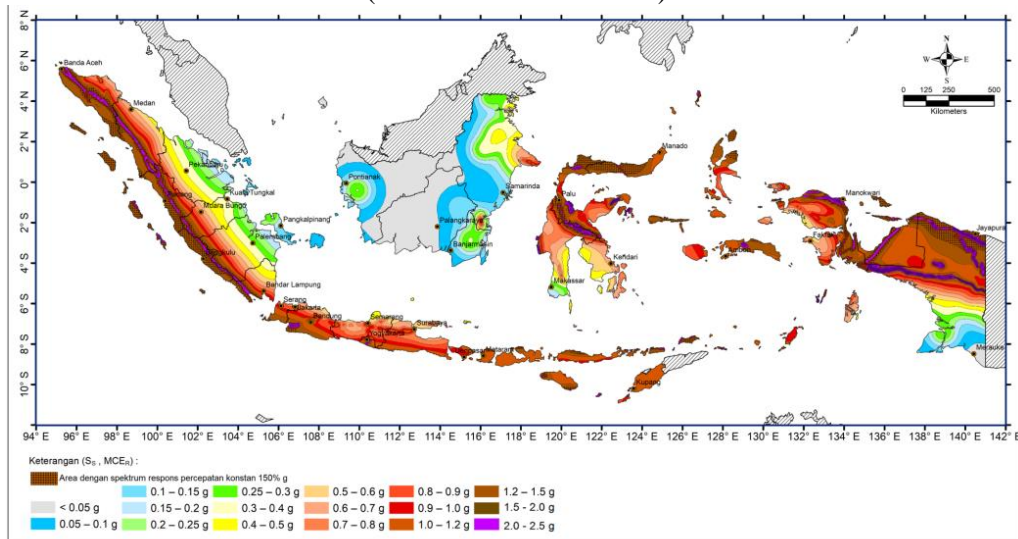
δ_{xe} = Simpangan pada tingkat -x yang ditentukan dengan analisis elastic

I_e = Faktor keutamaan gempa



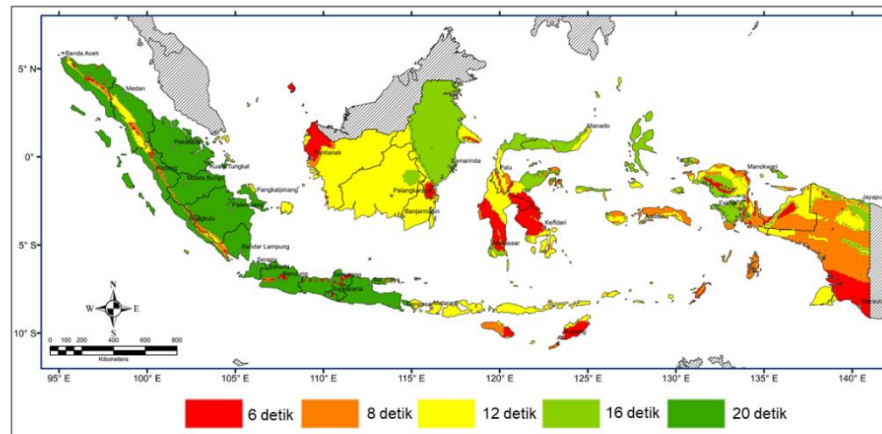
Gambar 16 – Parameter gerak tanah, S_1 , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCEs) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2- detik (redaman kritis 5%)

Gambar 2. 7 Nilai Spektra Percepatan (S_s)
(sumber: SNI 1726:2019)



Gambar 15 – Parameter gerak tanah S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCEs) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5%)

Gambar 2. 8 Spektral Percepatan (S_1)
(sumber: SNI 1726:2019)

Gambar 20 – Peta transisi periode panjang, T_L , wilayah IndonesiaGambar 2. 9 Peta transisi periode Panjang, T_L , wilayah Indonesia
(Sumber SNI 1726:2019)

2.8 Penelitian Terdahulu

1. Penelitian serupa juga pernah dilakukan oleh Laode Azan Muzahab (2018) yang menilite pengaruh pemasangan peredam getaran eksternal dengan menggunakan damper tipe *viscous* terhadap kinerja struktur Gedung yang berpusat di Cimahi. Pada penelitian ini menggunakan Gedung 6 lantai dengan kondisi tanah sedang yang fungsi bangunan adalah kantor. Hasil penelitian ini menunjukkan peredam getaran eksternal bertipe *viscous damper* dapat mereduksi besar simpangan lateral maksimal lantai, dan juga dapat mereduksi simpangan time history yang diakibatkan oleh beban gempa, dan juga mereduksi besar gaya geser antar lantai. Pada penelitian ini juga menunjukkan pemasangan peredam eksternal tipe *Viscous damper* pada posisi silang diagonal sangat efektif dalam mereduksi gaya geser antar lantai saat struktur melewati titik keseimbangan dalam gerak sikliknya, namun tidak efektif pada mereduksi gaya geser tingkat saat berada di simpangan terjatuh atau pada percepatan maksimumnya.

2. Pada penelitian yang dilakukan oleh Riki Sutansyah (2019) juga dilakukan penelitian yaitu Pengaruh Penempatan *Fluid Viscous Damper* Terhadap Respon Struktur Gedung 15 Lantai. Pada penelitian ini Damper diberikan tata letak variative di 3 tempat berbeda, dengan menggunakan Gedung dengan fungsi bangunan Perkantoran yang berada di Kota Medan dengan jenis tanah dasar tanah keras. Pada penelitian ini menunjukkan pengaplikasian Damper tipe *Viscous* sangat berpengaruh dalam mereduksi respons struktur yang terjadi. Contohnya pada aspek nilai respons perpindahan (*displacement*) terhadap waktu, menunjukkan jika Gedung tidak menggunakan damper perpindahan maksimum terjadi pada waktu 3,92 detik sebesar 247,723 mm, hasil yang berbeda pada Gedung dengan damper yang mengalami perpindahan maksimum pada waktu 3,34 detik sebesar 66,92 mm. Hal tersebut menunjukkan pada nilai respons perpindahan (*Displacement*) terhadap waktu, Gedung yang menggunakan damper dapat tereduksi cukup signifikan sebesar 27%.
3. Pada penelitian yang dilakukan oleh Zulfuadi Nasution (2017) dilakukan penelitian pada Gedung 5 lantai yang menggunakan *Fluid Viscous Damper* yang berlokasi di Kota Padang dengan jenis tanah dasar yaitu tanah sedang. Pada penelitian ini menghasilkan pada struktur yang menggunakan damper tipe *viscous* dapat mereduksi perpindahan antar lantai sebesar 65,16%, dan juga ditunjukkan dapat memperkecil simpangan pada struktur pada lantai 1 sebesar 20%, pada lantai 2 berkurang 10,75%, pada lantai 3 berkurang 7,75%, pada lantai 4 berkurang 68,85% dan pada atap berkurang 39,72%.
4. Pada penelitian yang dilakukan oleh Nur Laeli Hajati dan Ardita Narabuana Hanif (2018) dilakukan penelitian pada Gedung 10 lantai yang menggunakan FVD-1500. Didapatkan hasil bahwa struktur tanpa damper pada lantai 6 dan 7 nilai simpangan antar tingkat untuk arah x sebesar 39,3 mm. Dan pada struktur yang menggunakan damper simpangan antar tingkat menjadi 34,26 mm.
5. Pada penelitian yang dilakukan oleh Qamaruddin (2016) melakukan penelitian mengenai pengaruh *viscous fluid damper* terhadap defleksi lateral. Penulis mengelompokkan bangunan menjadi 4 tipe bangunan yaitu

bangunan persegi dengan kolom persegi, bangunan persegi dengan kolom persegi Panjang, bangunan persegi Panjang dengan kolom persegi dan bangunan persegi Panjang dengan kolom persegi Panjang. Dari hasil penelitian yang dilakukan, setelah tiap masing-masing struktur ditambahkan *fluid viscous damper*, defleksi lateral berkurang sebesar 92,17 % untuk bangunan persegi dengan kolom persegi, 91,88% untuk bangunan persegi dengan kolom persegi Panjang, 94,25% untuk bangunan persegi Panjang dengan kolom persegi dan 88,26% untuk bangunan persegi Panjang dengan kolom persegi Panjang.