

BAB II

Tinjauan Pustaka

2.1 Definisi Umum

Bangunan adalah kerangka struktur yang dibuat oleh manusia untuk memenuhi kebutuhan akan ruang dan fungsi tertentu. Bangunan sering disebut sebagai gedung atau rumah dalam berbagai bentuk sarana dan prasarana yang menunjang aktivitas manusia, baik dalam kebudayaan maupun kegiatan sehari – hari. Sistem rangka bangunan terdiri dari tiga elemen utama, yaitu rangka horizontal (balok), rangka vertikal (kolom), dan plat lantai (Sumarsono dkk, 2016).

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 24 Tahun 2008 tentang Pedoman Pemeliharaan Bangunan Gedung, fungsi bangunan gedung meliputi fungsi hunian, keagamaan, sosial, budaya, serta fungsi khusus lainnya. Fungsi ini harus memenuhi persyaratan administratif dan teknis yang ditetapkan. Pembangunan gedung melibatkan kegiatan perencanaan teknis, pelaksanaan konstruksi, dan pengawasan atau manajemen konstruksi (MK). Kegiatan ini mencakup pembangunan baru, perbaikan, perluasan, hingga penyelesaian gedung yang belum selesai.

Berdasarkan undang – undang No. 44 tahun 2009 tentang Rumah Sakit, di sebutkan bahwa Rumah Sakit adalah institusi pelayanan kesehatan yang menyelenggarakan pelayanan kesehatan perorangan secara paripurna yang menyediakan pelayanan rawat inap, rawat jalan, dan gawat darurat. Pengkategorian Rumah Sakit dibedakan berdasarkan jenis penyelenggaraan pelayanan, yang terdiri dari Rumah Sakit Umum (RSU) yaitu rumah sakit yang memberikan pelayanan kesehatan semua jenis penyakit, sedangkan Rumah Sakit Khusus (RSK), yaitu rumah sakit yang memberikan pelayanan utama pada suatu jenis penyakit tertentu berdasarkan ke khususannya. Sedangkan Rumah Sakit berdasarkan kepemilikannya di bagi menjadi dua yaitu Rumah Sakit pemerintah yang langsung dikelola oleh Departemen Kesehatan dan Rumah Sakit swasta yang dikelola masyarakat, lembaga, atau organisasi non-pemerintah, dan berperan melengkapi kebutuhan pelayanan kesehatan masyarakat dengan tetap mengikuti ketentuan perundang-undangan yang berlaku. (Nabila, 2020).

Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) adalah institusi pelayanan kesehatan yang diselenggarakan dan dikelola oleh pihak Pemerintah Daerah yang memberikan pelayanan kesehatan semua jenis penyakit mulai dari yang bersifat dasar, spesialisasi, hingga sub spesialisasi (Hapsari, 2020).

Dengan menggabungkan kekuatan beton dan baja, beton bertulang menjadi pilihan banyak orang untuk membangun struktur yang kuat, tahan lama, dan mampu menahan berbagai beban. Beton bertulang digunakan dalam banyak proyek, mulai dari gedung pencakar langit, jembatan, hingga infrastruktur penting lainnya (Elisa, 2024).

Pada bangunan bertingkat, beban lateral akibat gempa dan angin menjadi lebih dominan karena besarnya lebih signifikan dibandingkan pada bangunan tidak bertingkat. Beban lateral ini dapat menyebabkan simpangan pada gedung jika tidak diantisipasi dengan lebih baik (Margeritha dkk, 2024).

Salah satu teknologi untuk mengatasi beban lateral adalah *Fluid Viscous Damper (FVD)*. *FVD* merupakan peredam getaran yang dipasang pada kerangka struktur bangunan untuk meredam atau mendisipasi energi gempa. Prinsip kerja *FVD* adalah mengubah energi kinetik dari gaya gempa menjadi energi panas, yang kemudian dilepaskan ke udara. Peredam ini bekerja melalui pergerakan piston yang menekan dan menarik fluida di dalam sistemnya. Perbedaan tekanan menciptakan gaya redaman yang efektif untuk mengurangi simpangan akibat gaya lateral, sehingga meningkatkan stabilitas struktur (Surya, 2019).

2.2 Studi Literatur

Studi literatur ini diambil dari berbagai sumber yang relevan dan dapat dipercaya, termasuk buku Pelajaran, peraturan yang berlaku, makalah skripsi, serta jurnal ilmiah. Penelitian ini berfokus pada desain alternatif struktur rumah sakit menggunakan konstruksi baja dan sistem Fluid Viscous Damper untuk ketahanan gempa. Dalam konteks ini, penting untuk memahami berbagai standar dan pedoman yang mengatur perencanaan struktur bangunan, terutama yang berkaitan dengan ketahanan terhadap bencana alam seperti gempa bumi. Dengan mengikuti pedoman ini, diharapkan dapat menciptakan konstruksi gedung yang kokoh dan mampu meminimalisir dampak kerusakan akibat guncangan gempa.

Salah satu acuan utama dalam penelitian ini adalah SNI 1726:2019, yang merupakan tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung. Standar ini menetapkan persyaratan minimum yang harus dipenuhi terkait beban, tingkat bahaya, dan kriteria yang terkait dengan kinerja bangunan saat terjadi gempa. Dengan mengikuti SNI 1726:2019, perancang dapat memastikan bahwa struktur yang dibangun akan memiliki kemampuan untuk bertahan dalam kondisi seismik tertentu, sehingga meningkatkan keselamatan pengguna bangunan. Hal ini sangat penting mengingat Indonesia terletak di kawasan cincin api Pasifik, di mana aktivitas seismik cukup tinggi.

Selain itu, SNI 1727:2020 juga menjadi acuan penting dalam penelitian ini. Standar ini mengatur beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lainnya. Dokumen ini memberikan panduan tentang perhitungan beban yang harus dipertimbangkan dalam desain struktur, termasuk beban mati, beban hidup, serta beban lateral akibat angin dan gempa. Memahami dan menerapkan SNI 1727:2020 dalam perencanaan sangat krusial untuk memastikan bahwa semua factor yang mempengaruhi stabilitas bangunan diperhitungkan dengan baik.

Selanjutnya, SNI 2847:2019 berfokus pada persyaratan beton struktural gedung. SNI 2847:2019 ini memberikan pedoman mengenai kualitas beton yang digunakan dalam konstruksi bangunan agar memenuhi kekuatan yang diperlukan untuk mendukung struktur. Dalam konteks penggunaan konstruksi beton, pemahaman tentang beton struktural perlu diketahui agar bisa menjadi acuan untuk perbandingan atau bahkan kedua material beton dan baja bisa digunakan secara bersamaan dalam satu proyek. Oleh karena itu, penting bagi perancang untuk memahami spesifikasi beton agar dapat mengoptimalkan kinerja keseluruhan struktur.

SNI 1729:2020 adalah standar lain yang tidak kalah pentingnya, yaitu spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural. Standar ini memberikan panduan teknis dalam merancang dan membangun struktur baja agar memenuhi persyaratan kekuatan dan ketahanan gempa terhadap gempa. Dengan menggunakan SNI 1729:2020 sebagai acuan, perancang dapat memastikan bahwa struktur baja

tidak hanya kuat tetapi juga efisien dalam penggunaannya. Hal ini sangat penting bagi proyek – proyek besar seperti perencanaan pembangunan rumah sakit yang memerlukan ketahanan tinggi terhadap berbagai jenis beban.

Selain standar nasional, AISC 360-16 juga menjadi referensi internasional yang relevan dalam penelitian ini. Spesifikasi ini memberikan pedoman untuk desain bangunan menggunakan struktur baja dan telah digunakan oleh berbagai negara. AISC 360-16 mencakup berbagai aspek desain struktural termasuk kekuatan material, analisis stabilitas, serta detail sambungan. Mengintegrasikan kualitas dan keamanan struktur secara keseluruhan.

Artikel, jurnal ilmiah, makalah skripsi dan buku juga menjadi referensi dalam penelitian ini. Referensi – referensi itu diambil guna mendukung penelitian tentang desain alternatif struktur rumah sakit menggunakan konstruksi baja dan sistem peredam gempa Flui Viscous Damper. Semua sumber informasi akan menjadi acuan penting dalam merumuskan metode analisis dan perancangan yang tepat untuk mencapai tujuan penelitian.

2.3 Penelitian Terdahulu

Dalam penyusunan laporan ini penulis mendapat referensi dari beberapa penelitian yang pernah dilakukan. Berikut ini adalah referensi penelitian terdahulu

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Judul Penelitian	Tahun	Hasil
1	Liya Mathew & C. Prabha	Effect Of <i>Fluid Viscous Dampers</i> In Multi-Storeyed Buildings	2014	Penggunaan <i>fluid viscous damper</i> (FVD) efektif meningkatkan kinerja seismik bangunan. Efektivitas maksimal dicapai dengan rasio redaman 20% dan eksponen kecepatan 0,5

No	Penulis	Judul Penelitian	Tahun	Hasil
2	Zulfuadi Nasution	Perencanaan FVD (<i>Fluid Viscous Damper</i>) Pada Struktur Bangunan Baja.	2017	Analisis pada bangunan 5 lantai menunjukkan bahwa penggunaan fluid viscous damper (FVD) secara signifikan mengurangi perpindahan antar lantai akibat gempa. FVD mampu mereduksi perpindahan hingga 65,16% pada gempa pulse dan 28,38% pada gempa no pulse.
3	Nur Laeli, dan Ardita Narabuana	Kajian Kinerja Struktur Gedung Simetris Menggunakan Peredam <i>Fluid Viscous Damper</i> .	2018	Pola pemasangan FVD yang optimal, terutama pada portal interior arah memanjang dan melintang (Pola-4), terbukti secara signifikan meningkatkan kinerja seismik struktur melalui waktu getar yang lebih panjang, gaya geser dasar yang lebih kecil, dan simpangan antar tingkat yang lebih rendah secara keseluruhan.

No	Penulis	Judul Penelitian	Tahun	Hasil
4	Kiki Shahnarki	Analisis Efektifitas Pola <i>Fluid Viscous Damper</i> Pada Bangunan Bertingkat Dalam Mereduksi Respon Struktur Akibat Gaya Gempa.	2018	<i>Fluid Viscous Damper</i> terbukti efektif dalam mengurangi respons struktur bangunan bertingkat terhadap gaya gempa, dengan efisiensi maksimum dicapai melalui pola penempatan strategis seperti konsentrasi di bagian bawah-tengah, sehingga pemilihan pola pemasangan harus disesuaikan dengan kebutuhan desain spesifik bangunan.
5	Ferry Surya dan Sugeng Wijanto	Desain <i>Fluid Viscous Damper</i> Pada Bangunan Struktur Baja Enam Lantai	2019	Pemasangan <i>Fluid Viscous Damper</i> (FVD) mampu meningkatkan kinerja seismik bangunan. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan simpangan antar lantai sebesar 9,465% pada arah X dan 8,82% pada arah Y, serta pengurangan gaya geser dasar masing-masing sebesar 6,33% dan 5,69%.

No	Penulis	Judul Penelitian	Tahun	Hasil
6	Amatulhay Pribadi, Erma Desmaliana, dan Diandra Tira Fadlisha	Studi Perbandingan Respon Struktur Gedung Menggunakan <i>Fluid Viscous Damper</i> dengan Variasi Jumlah Lantai.	2020	<i>Fluid Viscous Damper</i> (FVD) mampu meningkatkan kinerja seismik struktur gedung dengan menurunkan periode getar alami hingga hampir 50% dan mengurangi simpangan antar lantai secara signifikan, tetap dalam batas aman. Meskipun gaya geser meningkat, struktur tetap memenuhi batas desain dan kriteria stabilitas.
7	Hytham Elwardany, Robert Janskowski, & Ayman Seleemah.	Mitigating the seismic pounding of multi-story buildings in series using linear and nonlinear <i>fluid viscous dampers</i>	2021	Penelitian pada bangunan rumah sakit 3 lantai menunjukkan bahwa peredam LFVD dan NFVD efektif mereduksi respons struktural serta jumlah tumbukan antar bangunan akibat gempa. Tanpa peredam, struktur mengalami drift dan gaya geser berlebih, sedangkan dengan peredam struktur tetap elastis.

No	Penulis	Judul Penelitian	Tahun	Hasil
8	Jessica Rebecca, dan Manalu	Analisis Penggunaan Fluid Viscous Damper Terhadap Beban Gempa Pada Gedung Beton Bertulang 8 Lantai.	2023	Penerapan <i>Fluid Viscous Damper</i> (FVD) pada gedung 8 lantai terbukti efektif meningkatkan kinerja seismik struktur. FVD mampu mereduksi simpangan antar lantai, menurunkan periode getar alami, dan meningkatkan gaya geser dasar. Hal ini menjadikannya solusi andal untuk bangunan bertingkat di daerah rawan gempa.
9	Muhammad Farrel Azhar, Resti Nur Arini & Fadli Kurnia	Analisis Perbandingan <i>Fluid Viscous Damper</i> Dan <i>Fixed Base</i> Terhadap Beban Siklik Dengan <i>Finite Element</i>	2024	Penggunaan Fluid Viscous Damper (FVD) terbukti meningkatkan daktilitas struktur sebesar 56,24% dibanding model fixed base. Selain itu, FVD juga meningkatkan kemampuan disipasi energi sebesar 3,1%. Hal ini menunjukkan bahwa FVD efektif dalam meningkatkan performa seismik bangunan.

No	Penulis	Judul Penelitian	Tahun	Hasil
10	Irfan Sabastian dan Rini Mulyani	Analisis Pengaruh Penggunaan Fluid Viscous Damper Terhadap Respon Struktur Gedung.	2024	Penambahan Fluid Viscous Damper (FVD) mampu meningkatkan keamanan dan kekakuan struktur dengan mereduksi periode waktu getar, perpindahan maksimum, simpangan antar lantai, serta gaya geser dasar secara signifikan.

(Sumber: Artikel)

2.4 Perencanaan Struktur

Perancangan struktur dan konstruksi bangunan bertingkat adalah proses merancang bangunan yang tidak hanya berhubungan dengan permasalahan struktur saja, namun juga aspek bangunan lain yang harus dilakukan secara menyeluruh dan terpadu. Rancangan bangunan yang berhasil adalah rancangan yang dapat mengoptimalkan perpaduan kepentingan pada bangunan, sehingga pertimbangan – pertimbangan desain harus dipadukan dengan seluruh aspek kepentingan bangunan itu (Purnamasari dkk, 2019).

Dalam perancangan struktur suatu bangunan gedung bertingkat ada banyak faktor yang diperhatikan, antara lain meliputi fungsi gedung, keamanan, keberlanjutan, serta pertimbangan ekonomis. Jadi, suatu bangunan harus didesain sehingga memenuhi kriteria bangunan yang kokoh, aman, nyaman, tetapi tetap ekonomis. Dalam mewujudkan bangunan yang berkualitas dari segi keamanan, kenyamanan, serta ekonomis diperlukan perencanaan dan perhitungan struktur gedung sesuai dengan peraturan sehingga memenuhi persyaratan pembangunan gedung. Dari sekian banyak faktor yang harus diperhatikan dalam perancangan struktur gedung bertingkat tinggi, keamanan merupakan faktor utama. Gaya lateral

harus diperhitungkan agar struktur memiliki kemampuan untuk dapat menahan gaya – gaya tersebut. Dalam perancangan suatu struktur gedung, perlu dilakukan analisis terhadap reaksi yang ditimbulkan oleh gaya – gaya yang bekerja terhadap struktur gedung (Purnamasari dkk, 2019).

Struktur terdiri dari struktur bawah yang meliputi pondasi serta struktur bangunan yang ada dibawah permukaan tanah dan struktur atas yang terdiri dari kolom, balok, plat lantai, tangga, atap serta bangunan yang berada di atas permukaan tanah.

2.5 Beton Bertulang

Beton merupakan suatu konstruksi yang umumnya tersusun dari air, *semen Portland* atau semen hidrolik, agregat halus, dan agregat kasar. Sifat beton sangat kuat menahan beban tekan namun juga mudah getas, patah dan rusak terhadap beban Tarik (Yayang, 2022).

Baja merupakan salah satu bahan konstruksi yang banyak digunakan setelah beton. Material yang berbahan dasar logam ini mempunyai banyak kelebihan, khususnya kekuatan dan kecepatan pengerjaan sehingga banyak diminati sebagai bahan konstruksi, baik struktur bangunan maupun jembatan (Arifi, 2020).

Material baja untuk sebagai elemen struktural diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimianya, sifat tariknya, dan metode pembuatannya seperti baja karbon (carbon steel), baja kekuatan tinggi rendah alumunium (high-strength low-alloy) HSLA, baja karbon dengan perlakuan panas (heat-treated carbon steel), dan baja alumunium konstruksi perlakuan panas (heat-treated constructional alloy steel). Dasar klasifikasi ini sangat memengaruhi sifat – sifat mekanis baja sebagai konstruksi (Arifi,2020).

Penggunaan baja sebagai bahan struktural utama dimulai pada akhir abad kesembilan belas ketika metode pengolahan baja yang murah dikembangkan dengan skala yang luas. Baja memiliki sifat struktural yang sangat baik, dengan kekuatan tinggi yang sama kuatnya baik pada tarikan maupun tekanan. Oleh karena itu, baja merupakan elemen struktural yang memiliki batasan sempurna yang mampu menahan beban tarik aksial, tekanan aksial, dan lentur dengan baik.

Meskipun berat jenis baja tinggi, tetapi perbandingannya terhadap kekuatannya juga tinggi, sehingga komponen baja tersebut tidak terlalu berat jika dibandingkan dengan kapasitas muat beban mereka, selama bentuk struktural yang digunakan memastikan penggunaan bahan secara efisien (Ghazali dkk, 2024).

2.5.1 Keuntungan Baja sebagai Material Struktur Bangunan

Selain kekuatannya yang besar dalam menahan gaya tarik dan tekan dengan volume yang relatif kecil, baja memiliki beberapa sifat lain yang menguntungkan yang membuatnya menjadi salah satu bahan bangunan yang sangat umum digunakan saat ini. Beberapa keunggulan baja sebagai material struktur antara lain:

a. **Kekuatan Tinggi**

Saat ini, baja dapat diproduksi dalam berbagai kekuatan yang dapat dengan kekuatan tegangan tekan lelehnya (F_y) atau tegangan tarik batasnya (F_u). Meskipun baja memiliki kekuatan terendah dalam kategori tersebut, namun tetap memiliki perbandingan kekuatan per-volume yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bangunan lain yang umum digunakan. Hal ini memungkinkan perencanaan konstruksi baja untuk memiliki beban mati yang lebih ringan pada bentang yang lebih panjang.

b. **Kemudahan Pemasangan**

Semua bagian dari konstruksi baja dapat dipersiapkan di bengkel, sehingga satu – satunya kegiatan yang dilakukan di lapangan adalah pemasangan bagian – bagian yang sudah dipersiapkan. Sebagian besar komponen konstruksi memiliki bentuk standar yang tersedia di toko – toko besi, memungkinkan waktu yang diperlukan untuk pembuatan dan pengadaan komponen – komponen baja yang sudah ada dapat dilakukan dengan mudah. Komponen – komponen baja umumnya memiliki bentuk standar dan karakteristik tertentu yang mudah diperoleh di berbagai tempat.

c. **Keseragaman**

Sifat – sifat baja, baik sebagai bahan bangunan maupun dalam bentuk struktur, dapat terkendali dengan baik, sehingga para ahli dapat mengandalkan perilaku elemen – elemen konstruksi baja sesuai dengan yang telah diperkirakan dalam perencanaan. Hal ini membantu menghindari pemborosan yang sering terjadi dalam perencanaan akibat ketidakpastian yang beragam.

d. Daktilitas

Sifat dari baja yang dapat mengalami deformasi yang besar di bawah tegangan tarik tinggi tanpa mengalami kerusakan atau patah disebut daktilitas. Keberadaan sifat ini memungkinkan struktur baja untuk mencegah kejadian runtuhnya bangunan secara mendadak. Keunggulan ini sangat bermanfaat dalam menjaga keamanan penghuni bangunan terutama saat terjadi guncangan tiba – tiba seperti gempa.

2.6 Fluid Viscous Damper

Menurut Douglas, 2000 (dalam Laurentcia,2020) Pada akhir tahun 1800 an, *Fluid Viscous Damper* banyak digunakan dibidang kemiliteran untuk melemahkan meriam yang besar. Setelah dilakukan berbagai percobaan, *Fluid Viscous Damper* juga digunakan untuk membuat piston model M1897. Kemudian, teknologi *Fluid Viscous Damper* itu menjadi tersebar luas terutama dikalangan angkatan darat dan angkatan laut. Tapi karena bersifat rahasia, maka *Fluid Viscous Damper* belum dipublikasikan kepada masyarakat. Setelah perang dingin II berakhir, teknologi *Fluid Viscous Damper* sudah tidak lagi bersifat rahasia. *Fluid Viscous Damper* kemudian mulai dikenal dan dikembangkan di bidang teknik sipil terutama dalam pembangunan gedung – gedung tinggi maupun infrastruktur lainnya. *Fluid Viscous Damper* dapat digunakan untuk mengurangi gaya dorongan yang masuk kedalam struktur (Laurentcia,2020).

Fluid Viscous Damper bekerja dengan cara memberikan gaya untuk meredam gerakan struktur saat terjadi gempa. *Fluid Viscous Damper* mendisipasi energi berdasarkan kecepatan gerak piston dan kekentalan cairan yang mengalir melalui lubang di piston. Cairan pekat yang biasa digunakan yaitu minyak silikon (*silicon oil*). *Fluid Viscous Damper* dipasang pada skeleton frame bangunan, biasanya sejajar dengan bracing diagonal.

Fluid Viscous Damper bekerja layaknya pegas yang dapat mereduksi tegangan dan defleksi yang terjadi pada struktur bangunan secara bersamaan. Gaya redaman yang bekerja sebanding dengan perubahan kecepatan stroke (*stroking velocity*). Cara kerja ini dianalogikan seperti suspensi atau shock absorber pada

mobil. *Fluid Viscous Damper* mendisipasi energi berdasarkan kecepatan gerak dari bagian damper. Bentuk umum dari gaya redaman atau damping dapat ditulis:

$$F_D = CV^\alpha \quad \text{Pers. 2- 1}$$

Dimana :

F_D = gaya damping / gaya gempa yang dihasilkan FVD (kN)

C = koefisien damping (peredam)

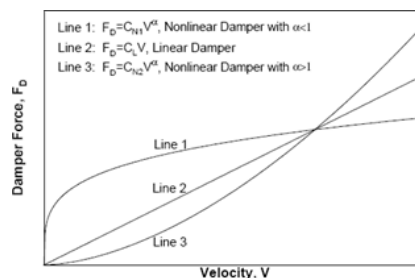
V = kecepatan yang dihasilkan FVD (m/s)

α = factor penggunaan linier dan non linier

$\alpha = 1$, untuk linier

$\alpha < 1$, untuk non-linier

Koefisien α mempengaruhi kelinieran dari damping, bila $\alpha = 1$ gaya damping disebut *linear viscous damper*, sedangkan $\alpha < 1$ maka gaya damping disebut *nonlinier viscous damper*. Nonlinier viscous damper lebih efektif dalam memperkecil guncangan dengan kecepatan tinggi.



Gambar 2. 1 Grafik Hubungan Antara Gaya Damping dan Kecepatan

(Sumber : Nasution, 2017)

Untuk menentukan kecepatan alat tersebut dapat dihitung menggunakan kecepatan per lantai pada bangunan dikarenakan kecepatan yang dihasilkan peredam sejalan dengan kecepatan yang dihasilkan per lantai pada bangunan. Perhitungan kecepatan per lantai dapat dijelaskan sebagai berikut.

$$V = \frac{2\pi \Delta}{T}$$

Pers. 2- 2

Dimana :

V = Kecepatan yang dihasilkan per lantai (m/s)

Δ = Displacement yang dihasilkan per lantai (m)

T = Periode yang dihasilkan bangunan (s)

π = 3,14

Untuk menemukan konstanta damping tersebut dapat dihitung menggunakan target redaman yang diperlukan. Perhitungan koefisien damping dapat dijelaskan sebagai berikut.

$$C = \zeta \frac{k_l T}{n_i \pi \cos^2 \theta_j} \quad \text{Pers. 2- 3}$$

Dimana :

C = Konstanta damping

k_l = Kekakuan per-lantai bangunan (kN/m)

n_i = Jumlah pemasangan FVD per-lantai (buah)

π = 3,14

T = Periode yang dihasilkan bangunan (s)

θ = Derajat pemasangan FVD terhadap lantai

ζ = Target redaman damper (%)

Target redaman yang diperhitungkan sesuai *Damper Design Manual FVD* jika bangunan tersebut baru ingin dibangun sebesar 20-25%. Redaman tersebut juga dapat diperhitungkan sebagai berikut.

$$\zeta = \frac{\sum W_j}{4\pi \sum m_k \phi_k^2}, \text{ untuk non linier} \quad \text{Pers. 2- 4}$$

$$\zeta = \frac{T \sum C_j \phi_{rj}^2 \cos^2 \theta_j}{4\pi \sum m_k \phi_k^2}, \text{ untuk linier} \quad \text{Pers. 2- 5}$$

Penentuan gaya yang dihasilkan oleh damper dapat dibandingkan melalui brosur daftar damper yang ada dengan kriteria damper masing-masing. Jenis damper FVD dapat dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 2. 2 Jenis Model Fluid Vscous Damper

Taylor Devices Model Number	Rated Force (kN)	Stroke (m)	Maxwell Stiffness, Kd (kN/m)
17120	250	±0,076	109450
17130	500	±0,106	164613
17140	750	±0,106	245168
17150	1000	±0,106	328350
17160	1500	±0,106	490336
17170	2000	±0,127	525360
20870	3000	±0,127	840576
20880	4000	±0,127	1050720
17200	6500	±0,127	1707420
17210	8000	±0,127	2101440

(Sumber : *Damper Design Manual Taylor Devices*)

2.6.1 Sambungan *Fluid Viscous Damper* (FVD)

Pada perencanaan sambungan *Fluid Viscous Damper* yang terdiri dari baut, plat, dan profil baja sebagai bracing diatur oleh SNI 1729:2020 dan dapat dijelaskan sebagai berikut:

2.6.1.1 Sambungan Bracing Profil Baja

Pada sambungan baja untuk *Fluid Viscous Damper* (FVD), hanya menerima tekan dan tarik. Perhitungan komponen baja terhadap tekan dan tarik dapat dijelaskan sebagai berikut.

Untuk struktur tarik,

Pada penampang Bruto, $P_n = F_y A_g$ Pers. 2- 6

Pada Penampang Netto, $P_n = F_u A_e$ Pers. 2- 7

Untuk Luasan Netto, $A_e = A_n U$ Pers. 2- 8

Dimana:

P_n = Gaya aksial tarik nominal (N)

F_y = Tegangan leleh baja (MPa)

F_u = Kekuatan tarik baja (MPa)

A_g = Luasan kotor (mm^2)

A_e = Luasan efektif (mm^2)

U = faktor lag geser

Untuk struktur tekan, $P_n = F_{cr} A_g$ Pers. 2- 9

Pada tegangan kritis,

Keadaan 1, $F_{cr} = (0,658 \frac{F_y}{F_e}) F_y$ Pers. 2- 10

Keadaan 2, $F_{cr} = 0,877 F_e$ Pers. 2- 11

Pada tegangan efektif, $F_e = \frac{\pi^2 E}{(\frac{L_{cz}}{r})^2}$ Pers. 2- 12

Dimana:

P_n = Gaya aksial tarik nominal (N)

F_{cr} = Kekuatan kritis baja (MPa)

r = Radius girasi (mm)

F_e = Tegangan tekuk elastis (MPa)

E = Modulus elastis baja (MPa)

2.6.1.2 Sambungan Las dan Baut

Pada sambungan untuk *Fluid Viscous Damper* (FVD) terdapat las dan baut. Perhitungan las dan baut dapat dijelaskan sebagai berikut.

Untuk las nominal, $R_n = F_w A_w$ Pers. 2- 13

Untuk geser baut, $R_n = F_{nv} A_b$ Pers. 2- 14

Untuk kuat tumpu baut, $1,2 L_c t F_u \leq 2,4 d t F_u$ Pers. 2- 15

Dimana:

R_n = Kekuatan nominal (N)

F_w = Kuat tarik las (MPa)

F_{nv} = Kuat tarik baut (MPa)

A_b = Luas baut (mm^2)

A_w = Luas las (mm^2)

t = Tebal plat (mm)

F_u = Kuat tarik ultimate (MPa)

2.6.1.3 Sambungan Plat

Pada sambungan untuk *Fluid Viscous Damper* (FVD) terdapat plat sambung. Perhitungan plat sambung dapat dijelaskan sebagai berikut.

Untuk tarik leleh, $R_n = F_y A_g$ Pers. 2- 16

Untuk tarik fraktur, $R_n = F_u A_e$ Pers. 2- 17

Untuk batas leleh, $R_n = 2 F_y t (5 t_p + t_s) \leq F_y A_g$ Pers. 2- 18

Untuk tebal plat, $tp \geq \sqrt{\frac{2 Pt}{c F_y \pi f_3}}$ Pers. 2- 19

Untuk jumlah baut, $tp \geq \frac{Pt}{Rc} \left(1 - \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_3 \ln \frac{r_1}{r_2}} \right)$ Pers. 2- 20

Untuk las minimum, $W > \frac{Pt \sqrt{2}}{F_w t \pi D}$ Pers. 2- 21

Dimana:

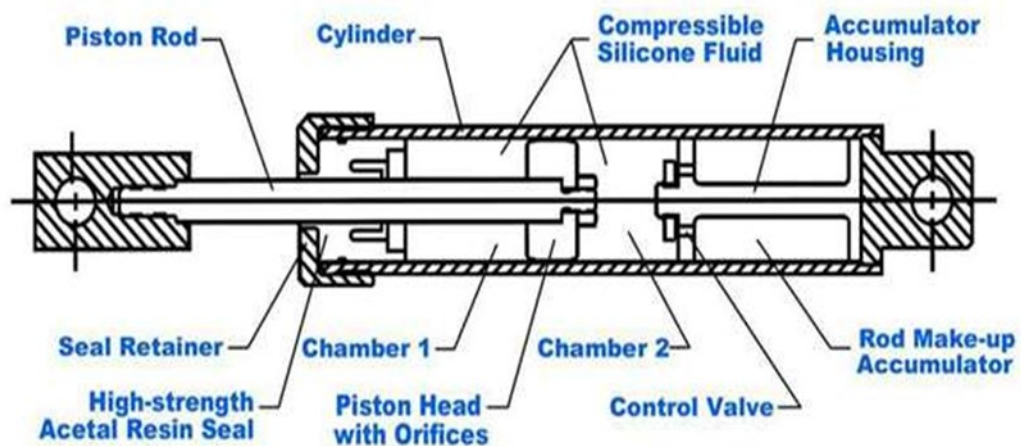
R_n = Kekuatan nominal (N)

F_y = Tegangan leleh baja (MPa)

F_u	= Kekuatan tarik baja (MPa)
A_g	= Luasan kotor (mm^2)
A_e	= Luasan efektif (mm^2)
t_p	= Tebal plat (mm)
t_s	= Tebal plat sambung (mm)
P_t	= Gaya aksial total (N)
R_c	= Gaya tarik baut (N)
f_3	= Parameter perhitungan
r_1	= Parameter perhitungan (mm)
r_2	= Parameter perhitungan (mm)
D	= Diameter profil (mm)

2.6.2 Bagian – bagian Fluid Viscous Damper

Meskipun jumlah elemen desain utama pada *Fluid Viscous Damper* (FVD) relatif sedikit, namun setiap komponen memiliki peran yang sangat krusial dalam kinerja sistem peredam. Rincian dari elemen-elemen ini, seperti piston, silinder, fluida viskos, dan seal, sering kali membutuhkan perhatian khusus karena melibatkan aspek mekanika fluida, material, serta rekayasa manufaktur. Oleh karena itu, meskipun secara kuantitas tidak banyak, kompleksitas teknis dalam perancangan dan integrasi FVD ke dalam sistem struktur bisa menjadi cukup menantang. Gambar 2.2 berikut memperlihatkan representasi visual dari *Fluid Viscous Damper* beserta bagian-bagian penyusunnya yang berperan dalam proses disipasi energi selama terjadinya beban gempa.



Gambar 2. 2 Sketsa *Fluid Viscous Damper*

(Sumber : Taylor Devices Inc. 2020)

Piston rod. Dikarenakan *piston rod* relatif dan harus menahan beban kolom, biasanya *piston rod* dibuat dari bahan material baja mutu tinggi. *Stainless steel* lebih dipilih untuk digunakan karena korosi pada permukaan *piston rod* dapat menyebabkan *Fluid Viscous Damper* tidak berfungsi.

Cylinder. *Cylinder* berisi media cairan dan harus menerima tekanan damper beroperasi. *Cylinder* biasanya terbuat dari pipa – pipa baja. Konstruksi las dan cor tidak diizinkan untuk *cylinder* damper, mengingat kekhawatiran akan umur kelelahan dan retak tegang.

Fluid. Cairan yang digunakan adalah cairan yang tahan api, tidak beracun, mempunyai temperatur yang stabil, dan tahan lama, satu – satunya cairan yang memenuhi kriteria tersebut jenis *silicone*. *Silicone* yang digunakan memiliki flash point lebih dari 340°C. Cairan *silicone* yang digunakan dalam kosmetik seperti krim tangan dan wajah.

Seal. *Seal* yang digunakan pada *Fluid Viscous Damper* harus berfungsi minimal 25 tahun tanpa memerlukan pergantian secara periodik. Kebanyakan damper menggunakan *seal* dinamik pada permukaan *piston rod*, dan *seal* statik dimana ujung penutup atau penahan *seal* melekat ke *cylinder*.

Piston Head. *Piston head* melekat pada *piston rod*, dengan efektif membagi *cylinder* kedalam ruang tekan.

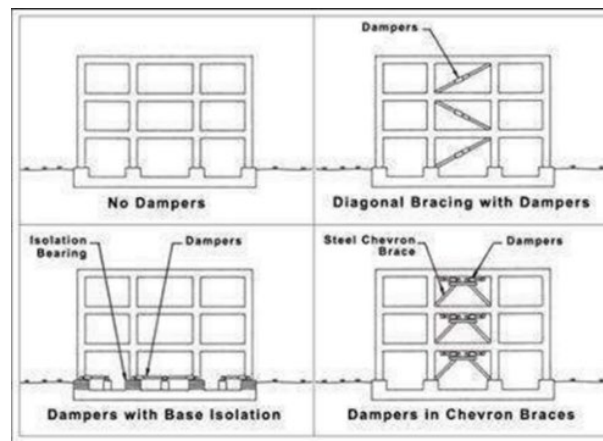
Seal Retainer. Digunakan untuk menutup dan membuka ujung silinder.

Accumulator. Fungsi dari *Accumulator* adalah untuk mengontrol laju pergerakan *piston rod* masuk dan keluar damper selama bekerja. Fungsi lainnya adalah untuk menyeimbangkan temperatur dan penyusunan cairan.

Orifices. Aliran bertekanan dari cairan melalui *piston head* diatur oleh *orifices*.

2.6.3 Pemasangan *Fluid Viscous Damper*

Dalam aplikasinya, pola penempatan *Fluid Viscous Damper* sangat beragam tergantung pada kebutuhan dan mempertimbangkan estetika bangunan. Umumnya pada struktur gedung, *Fluid Viscous Damper* dipasang diagonal bracing.



Gambar 2. 3 Gaya Pemasangan

(Sumber : Nasution, 2017)



Gambar 2. 4 The San Fransisco Pasific Center Office Building

(Sumber : Nasution, 2017)



Gambar 2. 5 Pemasangan Damper The Hotel Woodland, Woodland, California.

(Sumber : Nasution, 2017)

Sistem Fluid Viscous Damper juga dapat dipasang dengan beberapa cara. Diantaranya adalah dengan cara diagonal, chevron, scissor-jack, upper toggle, dan reverse toggle.

Diagonal		$f = \cos \theta$	$\theta = 37^\circ$ $f = 0.80$ $\beta = 0.03$
Chevron		$f = 1.00$	$f = 1.00$ $\beta = 0.05$
Scissor-Jack		$f = \frac{\cos \theta}{\sin \theta}$	$\theta = 9^\circ, \theta = 70^\circ$ $f = 2.16$ $\beta = 0.23$
Upper Toggle		$f = \frac{\sin \theta_1}{\cos(\theta_1 + \theta_2)}$	$\theta_1 = 31.9^\circ, \theta_2 = 43.2^\circ$ $f = 3.191$ $\beta = 0.509$
Reverse Toggle		$f = \frac{\alpha \cos \theta_1}{\cos(\theta_1 + \theta_2)}$	$\theta_1 = 30^\circ, \theta_2 = 40^\circ$ $\alpha = 0.7$ $f = 2.521$ $\beta = 0.318$

Gambar 2. 6 Desain Pemasangan FVD Pada Bangunan.

(Sumber : Sigaher-Boyle, 2004)

Pada saat pemasangan Fluid Viscous Damper umumnya disambung dengan bracing baja. Karena panjang dari Fluid Viscous Damper hanya sekitar 1 meter.

2.6.4 Kelebihan *Fluid Viscous Damper*

Adapun alat peredam *Fluid Viscous Damper* (FVD) memiliki sejumlah kelebihan yang menjadikannya solusi efektif dalam meningkatkan ketahanan struktur bangunan terhadap beban dinamis, khususnya gempa. Kelebihan-kelebihan ini tidak hanya berkaitan dengan kinerja teknis dalam meredam energi seismik,

tetapi juga mencakup aspek efisiensi desain, kemudahan integrasi dengan struktur eksisting, serta pemeliharaan yang relatif rendah. Secara rinci, keunggulan dari penggunaan Fluid Viscous Damper dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Dapat mereduksi gerakan struktur akibat gempa, dengan mengubah energi kinetik menjadi energi panas, selanjutnya panas yang terjadi menghilang di udara (atmosfir).
2. Dapat mereduksi simpangan antar lantai.
3. Dapat mereduksi periode fundamental struktur.
4. Dapat mereduksi base shear.
5. Dapat mereduksi tegangan dan defleksi struktur secara bersamaan saat gempa. Karena gaya yang dihasilkan FVD yang bekerja sebanding dengan perubahan kecepatan *strokenya* (*stroking velocity*).
6. Fleksibel dalam pemilihan lokasi penempatan, konfigurasi, dan ukuran.

2.6.5 Kekurangan *Fluid Viscous Damper*

1. *Fluid Viscous Damper* pada umumnya dipasang pada struktur atas gedung. Sehingga, keberadaannya dapat mengurangi nilai arsitektural dan memakan ruang.
2. FVD yang tersedia di pasaran panjangnya hanya sekitar 1 meter. Sehingga, diperlukan *bracing* sebagai penyambung pada saat pemasangannya.

2.7 Preliminary Design

Dalam perencanaan struktur bangunan gedung, tahap preliminary design memegang peran fundamental sebagai dasar awal dalam menentukan perkiraan dimensi elemen struktural, seperti pelat, balok, dan kolom. Meskipun bersifat estimatif, tahap ini sangat penting untuk memastikan efisiensi material dan kelayakan teknis sebelum memasuki analisis struktural yang lebih rinci. Penentuan ukuran awal pada tahap ini mengacu pada standar nasional yang berlaku, salah satunya SNI 2847:2019, yang memuat ketentuan teknis mengenai persyaratan desain dan kekuatan minimum untuk elemen-elemen struktur beton bertulang. Adapun prinsip dan pendekatan dalam preliminary design dapat dijelaskan sebagai berikut.

2.7.1 Preliminary plat

Berdasarkan ketentuan dalam SNI 2847:2019, perancangan awal (*preliminary design*) pelat struktur dilakukan untuk memberikan estimasi dimensi dan ketebalan pelat yang memenuhi persyaratan kekuatan dan kinerja struktur. Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan bahwa pelat mampu menahan beban yang direncanakan, sekaligus mempertimbangkan efisiensi material serta kemudahan dalam pelaksanaan konstruksi. Adapun prinsip-prinsip perancangan awal pelat dijabarkan sebagai berikut.

Tabel 2. 3 Preliminary plat

α_{fm} [1]	h minimum, mm		
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	8.3.1.1 berlaku		(a)
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5\beta (\alpha_{fm} - 0,2)}$	(b)[2],[3]
		125	(c)
$\alpha_{fm} > 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta}$	(d)[2],[3]
		90	(e)

(Sumber : Tabel 8.3.1.2 SNI 2847 2019)

Dimana :

α_{fm} = rasio inersia balok dan plat

l_n = bentang plat (mm)

F_y = kekuatan tarik baja (Mpa)

β = rasio bentang panjang dan pendek

2.7.2 Preliminary Balok

Mengacu pada SNI 2847:2019, tahap perancangan awal preliminary design elemen balok bertujuan untuk menentukan dimensi awal yang proporsional, efisien, dan memenuhi kriteria kekuatan serta kestabilan struktur secara umum. Tahapan ini merupakan langkah awal yang sangat penting dalam proses perencanaan struktur, karena memberikan acuan awal terhadap kebutuhan dimensi penampang balok sebelum dilakukan analisis struktur secara menyeluruh dan detail. Dalam perhitungan ini, insinyur struktur mempertimbangkan kombinasi beban yang

bekerja termasuk beban lentur (*momen*), geser (*shear*), dan beban aksial jika ada serta batasan yang ditetapkan oleh peraturan dan standar teknis yang berlaku. Prinsip dan pendekatan umum dalam preliminary design balok dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 2. 4 Preliminary Balok

Kondisi perlekatan	Minimum $h[1]$
Perlekatan sederhana	$l/16$
Menerus satu sisi	$l/18,5$
Menerus dua sisi	$l/21$
Kantilever	$l/8$

(Sumber : Tabel 9.3.1.1 SNI 2847 2019)

Dimana :

l = bentang balok (mm)

2.7.3 Preliminary Kolom

Mengacu pada SNI 2847:2019, perancangan awal (*preliminary design*) elemen kolom merupakan langkah penting dalam menentukan ukuran awal yang efisien dan aman untuk menahan beban aksial maupun momen lentur yang bekerja. Tahap ini memberikan estimasi dimensi yang dapat dijadikan acuan awal sebelum dilakukan analisis struktur secara menyeluruh. Prinsip dasar dan pendekatan umum dalam preliminary design kolom dijabarkan sebagai berikut.

$$P_u = 0,85 F_c' (A_g - A_{st}) + (A_{st}F_y) \quad \text{Pers. 2- 22}$$

Dimana :

P_u = gaya aksial yang diterima kolom (N)

F_c' = kekuatan tekan beton (Mpa)

F_y = kekuatan tarik baja (Mpa)

A_g = rasio luasan penampang kotor (%)

A_{st} = rasio luasan penampang tulangan (%)

2.8 Penetapan Beban

Beban adalah gaya luar yang bekerja pada suatu struktur. Penentuan secara pasti besarnya beban yang bekerja pada suatu struktur selama umur layannya

merupakan salah satu pekerjaan yang cukup sulit. Selain itu, pada umumnya penentuan besarnya beban hanya merupakan suatu estimasi saja. Meskipun beban yang bekerja pada suatu lokasi telah diestimasi, maka masalah yang berikutnya adalah menentukan kombinasi – kombinasi beban yang paling dominan yang mungkin bekerja pada struktur tersebut. Dalam melakukan desain suatu struktur bangunan, perlu gambaran yang jelas mengenai perilaku dan beban yang bekerja pada struktur. Pembebanan pada struktur bangunan merupakan salah satu hal yang terpenting dalam perencanaan sebuah gedung. Kesalahan dalam perencanaan beban atau penerapan beban pada perhitungan akan mengakibatkan kesalahan yang fatal pada hasil desain bangunan tersebut (Rizky, 2018).

Menurut Gideon dan Takim dalam (Yayang, 2023) beban – beban yang bekerja pada struktur setiap beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), beban gempa (*earthquake*), dan beban angin (*wind load*) menjadi bahan perhitungan awal dalam perencanaan struktur untuk mendapatkan besar dan arah gaya – gaya yang bekerja pada setiap komponen struktur, dapat dilakukan analisis struktur untuk mengetahui besarnya kapasitas penampang dan tulang yang dibutuhkan oleh masing – masing struktur.

Perencanaan pembebanan dihitung mengacu pada SNI 1727:2020 tentang Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain dan ASCE 7-16, Untuk beban gempa mengacu pada SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan 16 ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

2.8.1 Beban Mati

Menurut SNI 1727:2020 Beban mati adalah beban gravitasi yang berasal dari berat semua komponen Gedung atau bangunan yang bersifat permanen selama masa layan struktur tersebut. Beban mati yang terdapat pada gedung Rumah Sakit Umum Daerah Ngudi Waluyo Wlingi adalah sebagai berikut.

- 1) Berat beton bertulang = $23,6 \text{ kN/m}^3$

2.8.2 Beban Mati Tambahan (*Superimposed Dead Load*)

Menurut SNI 1727:2020, beban mati tambahan (*superimposed dead load*) merupakan bagian dari beban mati yang berasal dari elemen non-struktural permanen yang ditambahkan ke dalam bangunan setelah struktur utama selesai dibangun. Elemen-elemen ini mencakup komponen arsitektural. Beban mati tambahan mencakup berat dari elemen-elemen seperti dinding, plafon, tangga, finishing lantai, dan sistem mekanikal elektrik, serta plumbing. Dengan memperhitungkan beban mati tambahan secara tepat, perancang struktur dapat memastikan bahwa bangunan memiliki kapasitas yang memadai untuk menahan beban, serta memberikan dasar untuk analisis beban lainnya (Aryanto, 2016). Beban mati tambahan yang terdapat pada gedung Rumah Sakit Umum Daerah Ngudi Waluyo Wlingi adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 5 Beban Mati Tambahan

Jenis Lantai		Berat (kN/m ²)
Beban Mati Plat		
1.	Lantai 1 – Lantai 3	1.40
2	Lantai Atap – Lantai Lift	1.03
3	Tangga	1.51
Beban Mati Dinding		
1	Lantai 1	11.6
2	Lantai 2 – Lantai 3	15.95
3	Lantai Atap – Lantai Lift	11.6

(Sumber : Tabel C3-1 SNI 1727:2020)

2.8.3 Beban Hidup

Beban hidup (*live load*) adalah jenis beban yang timbul akibat aktivitas penghuni atau pengguna suatu bangunan, serta benda-benda yang dapat berpindah tempat di dalamnya. Beban ini mencakup berat orang, perabotan, peralatan, dan mesin yang tidak terpasang secara permanen, serta beban sementara lainnya yang dapat berubah-ubah selama masa layan bangunan (Zuhrotun dkk, 2022). Karakteristik utama dari beban hidup adalah sifatnya yang tidak tetap, baik dalam hal lokasi maupun intensitasnya, sehingga memerlukan perhatian khusus dalam perencanaan dan analisis struktur bangunan (Sasi dkk, 2023). Menurut SNI 1727:2020, beban hidup harus diperhitungkan berdasarkan fungsi dan penggunaan ruang dalam bangunan. Sebagai contoh, ruang kantor, lobi, ruang pasien, dan area lainnya memiliki nilai beban hidup yang berbeda sesuai dengan aktivitas yang berlangsung di dalamnya. Beban hidup diperhitungkan sesuai dengan fungsi bangunan beban hidup dapat didefinisikan sesuai SNI 1727-2020 Tabel 4.3-1 sebagai berikut:

Tabel 2. 6 Beban Hidup

Fungsi Bangunan		Berat (kN/m ²)
1	Ruang operasi, laboratorium	2,87
2	Ruang pasien	1,92
3	Lobi	4,79
4	Tangga	4,79
5	Koridor	4,79
6	Ruang Kantor	2,4
7	Ruang Pabrik (ringan)	6,00
8	Gudang Penyimpanan (Ringan)	6,00

Fungsi Bangunan		Berat (kN/m ²)
9	Ruang Alat Kesehatan	4,9

(Sumber : Tabel 4-3-1 SNI 1727 2020)

2.8.4 Beban Angin

Beban angin adalah gaya yang bekerja pada struktur bangunan akibat tekanan yang ditimbulkan oleh angin yang mengalir di sekitarnya. Menurut SNI 1727:2020, beban angin dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk kecepatan angin dasar, topografi lokasi, eksposur bangunan terhadap angin, serta bentuk dan ketinggian bangunan. Bangunan gedung dan struktur lain, termasuk Sistem Penahan Beban Angin Utama (SPBAU) dan seluruh komponen dan klading gedung, harus dirancang dan dilaksanakan untuk menahan beban angin seperti yang ditetapkan menurut SNI 1727-2020. Ketentuan dalam SNI 1727:2020 mendefinisikan parameter angin dasar untuk digunakan dengan ketentuan lainnya yang terdapat dalam SNI. SNI 1727:2020 ini menyediakan panduan rinci untuk menghitung beban angin yang harus diperhitungkan dalam perancangan struktur bangunan.

2.8.4.1 Menentukan Kecepatan Angin Dasar (V)

Kecepatan angin dasar merupakan parameter penting dalam perancangan struktur bangunan untuk memastikan ketahanan terhadap beban angin. Menurut SNI 1727:2020, kecepatan angin dasar ditentukan berdasarkan probabilitas eksceedance tahunan dan masa ulang (*mean recurrence interval*) tertentu, yang disesuaikan dengan kategori risiko bangunan. Namun, SNI 1727:2020 tidak menyediakan peta kecepatan angin dasar spesifik untuk wilayah Indonesia. Sebagai alternatif saya menggunakan panduan dari buku HB 212-2002 - *Design Wind Speeds for the Asia-Pacific Region*

2.8.4.2 Faktor Arah Angin (Kd)

Dalam perancangan struktur bangunan, faktor arah angin (Kd) merupakan salah satu parameter penting yang digunakan untuk menyesuaikan besarnya beban angin yang bekerja, berdasarkan arah datangnya angin relatif terhadap orientasi dan geometri bangunan. Faktor ini berfungsi untuk mengakomodasi variasi intensitas angin akibat arah tertentu yang mungkin memiliki probabilitas lebih tinggi atau

lebih rendah dalam menimbulkan beban maksimum pada struktur. Oleh karena itu, Kd menjadi bagian integral dalam penentuan beban angin desain untuk memastikan bahwa struktur memiliki ketahanan yang memadai terhadap pengaruh angin dari berbagai arah. SNI 1727:2020 memberikan pedoman dan ketentuan teknis mengenai nilai-nilai faktor arah angin ini, yang ditentukan berdasarkan klasifikasi jenis bangunan, lokasi geografis, serta fungsi bangunan. Penjelasan lebih lanjut mengenai penerapan dan nilai-nilai faktor arah angin (Kd) sesuai SNI 1727:2020 akan dijabarkan pada uraian berikut.

Tabel 2. 7 Faktor Arah Angin

No	Tipe Struktur	Faktor Arah Angin (Kd)
1	Bangunan Gedung Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU)	0,85

(Sumber : Tabel 26.6-1 SNI 1727:2020)

2.8.4.3 Kategori Eksposur

Kategori eksposur oleh SNI 1727 2020 yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

Eksposur C: Eksposur C berlaku untuk semua kasus.

2.8.4.4 Faktor Topografi

Faktor topografi menurut SNI 1727:2020 merupakan salah satu komponen penting dalam perhitungan beban angin yang mempengaruhi respons struktur terhadap kecepatan angin berdasarkan kondisi kontur permukaan tanah. Faktor ini dihitung dengan menggunakan rumus:

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3) \quad \text{Pers. 2- 23}$$

Dimana :

K_{zt} = Faktor topografi

K_1 = Faktor bentuk topografi

K_2 = Faktor reduksi kecepatan angin dan jarak

K_3 = Faktor reduksi kecepatan angin dan elevasi

Jika kondisi situs dan lokasi bangunan gedung dan struktur lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan dalam Pasal 26.8.1, maka $Kzt = 1,0$.

2.8.4.5 Faktor Elevasi Permukaan Tanah

Dalam perencanaan struktur bangunan, faktor elevasi permukaan tanah (K_e) merupakan parameter penting yang digunakan untuk menyesuaikan perhitungan beban angin berdasarkan ketinggian lokasi bangunan dari permukaan laut. Menurut SNI 1727:2020, faktor ini mempertimbangkan perubahan densitas udara yang terjadi seiring dengan peningkatan elevasi, yang dapat memengaruhi tekanan angin yang bekerja pada struktur. Secara umum, densitas udara menurun seiring dengan peningkatan elevasi, yang berarti tekanan angin pada ketinggian yang lebih tinggi dapat berbeda dibandingkan dengan tekanan pada permukaan laut. Namun, untuk sebagian besar wilayah di Indonesia yang memiliki elevasi relatif rendah, pengaruh perubahan densitas udara terhadap beban angin dianggap minimal. Faktor elevasi permukaan tanah untuk menyesuaikan densitas udara, K_e , harus ditentukan sesuai dengan SNI 1727 2020 Tabel 26.9-1. Untuk semua elevasi, boleh diambil nilai $K_e = 1$. Faktor elevasi permukaan tanah oleh SNI 1727:2020 yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 2. 8 Faktor Elevasi Permukaan Tanah

No	Elevasi Tanah Di Atas permukaan Laut (m)	Faktor Elevasi Permukaan Tanah (K_e)
1	< 0	Lihat Catatan 2
2	0	1,00
3	305	0,96
4	610	0,93
5	914	0,90
6	1219	0,86
7	1524	0,83
8	1829	0,80
9	> 1829	Lihat Catatan 2

(Sumber : Tabel 26.9-1 SNI 1727 2020)

* Untuk semua elevasi, boleh diambil nilai $K_e = 1$

2.8.4.6 Faktor Efek Hembusan Angin

Faktor efek hembusan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0,85.

2.8.4.7 Koefisien Tekanan Internal

Koefisien tekanan internal menurut SNI 1727:2020 merupakan nilai yang digunakan untuk memperhitungkan tekanan atau hisapan udara di dalam bangunan akibat perbedaan tekanan antara bagian dalam dan luar bangunan, yang dijelaskan lebih lanjut sebagai berikut.

Tabel 2. 9 Koefisien Tekanan Internal

No	Klasifikasi Ketertutupan	Kriteria	Tekanan Internal	Gcpi
1	Bangunan tertutup	A_o kurang dari terkecil 0,01 A_g atau 4 ft ² (0,37 m ²) dan A_{oi} / A_{gi} 0,2	Sedang	-0,18
2	Bangunan Tertutup Sebagian	$A_o > 1,1 A_{oi}$ dan $A_o >$ terkecil dari 0,01 A_g atau 4 ft ² (0,37 m ²) dan A_{oi}/A_{gi} 0,2	Tinggi	-0,55
3	Bangunan Terbuka Sebagian	Bangunan yang tidak sesuai dengan Klasifikasi tertutup, tertutup sebagian, atau klasifikasi terbuka.	Sedang	-0,18
4	Bangunan Terbuka	Setiap dinding minimal terbuka 80%	Diabaikan	0,00

(Sumber : Tabel 26.13-1 SNI 1727:2020)

2.8.4.8 Koefisien Eksposur Tekanan Kecepatan (K_z atau K_h)

Koefisien eksposur tekanan, sebagaimana diatur dalam SNI 1727:2020, merupakan faktor koreksi yang digunakan untuk menyesuaikan tekanan angin berdasarkan karakteristik lingkungan sekitar bangunan, seperti topografi, ketinggian bangunan, dan kepadatan permukaan tanah. Penjelasan lebih lanjut mengenai penentuan nilai koefisien ini dapat dijabarkan sebagai berikut.

Tabel 2.9 Koefisien Eksposur Tekanan Kecepatan

No	Ketinggian di atas permukaan tanah (m)	Eksposur
		C
1	0 - 4,6	0,85
2	6,1	0,90
3	7,6	0,94
4	9,1	0,98
5	12,2	1,04
6	15,2	1,09
7	18,0	1,13
8	21,3	1,17
9	24,4	1,21
10	27,4	1,24
11	30,5	1,26
12	36,6	1,31
13	42,7	1,36
14	48,8	1,39
15	54,9	1,43
16	61,0	1,46
17	76,2	1,53
18	91,4	1,59
19	106,7	1,64
20	121,9	1,69
21	137,2	1,73
22	152,4	1,77

(Sumber : Tabel 26.10-1 SNI 1727:2020)

2.8.4.9 Tekanan Kecepatan (q_z)

Tekanan kecepatan angin oleh SNI 1727:2020 yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

$$q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d K_e V^2$$

Pers. 2- 24

Dimana :

q_z = Tekanan kecepatan angin (N/m^2)

K_{zt} = Koefisien faktor topografi

K_z = Koefisien eksposur tekanan kecepatan

K_d = Koefisien faktor arah angin

K_e = Koefisien faktor elevasi permukaan tanah

V = Koefisien angin (m/s)

2.8.4.10 Koefisien Tekanan Eksternal (C_p)

Koefisien tekanan eksternal oleh SNI 1727:2020 yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 2. 10 Koefisien Tekanan Eksternal

No	Permukaan	L/B	C_p	Digunakan dengan
1	Dinding di sisi angin datang	Seluruh Nilai	0,8	q_z
2	Dinding di sisi angin pergi	0-1	-0,5	q_h
		2	- 0,3	q_h
		≥ 4	- 0,2	q_h
3	Dinding tepi	Seluruh Nilai	- 0,7	q_h

(Sumber: Gambar 27.3-1 SNI 1727:2020)

2.8.4.11 Beban Angin (P)

Beban angin oleh SNI 1727:2020 yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

$$P = qGC_p - q_i(GC_{pi})$$

Pers. 2- 25

Dimana :

P = Beban angin (N)

q = Tekanan kecepatan angin (N/m^2)

q_i = Tekanan berdasarkan ketertutupan Gedung/ interior (N/m^2)

G = Faktor efek hembusan angin

C_p = Koefisien tekanan eksternal

C_{pi} = Koefisien tekanan internal

2.8.5 Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa tersebut. Pada saat bangunan bergetar, timbul gaya – gaya pada struktur bangunan karena adanya kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya dari gerakan. Beban gempa sangat tidak dapat diperkirakan baik besarnya, arahnya, maupun saat terjadinya. Besarnya beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan, tergantung dari banyak variabel. Gaya horizontal, gaya vertikal dan momen torsi yang terjadi akibat gempa pada struktur, sangat tergantung pada berat dan kekakuan material struktur, konfigurasi dan sistem struktur, periode atau waktu getar struktur, kondisi tanah dasar, wilayah kegempaan, serta perilaku gempa itu sendiri.

Berdasarkan pada peraturan gempa terbaru SNI 1726:2019, gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarannya selama umur 50 tahun adalah sebesar 2%.

Berdasarkan SNI 1726:2019 beban gempa dapat diatur dengan langkah – langkah sebagai berikut.

2.8.5.1 Menentukan Kategori Risiko Bangunan

Kategori risiko bangunan merupakan suatu hal penting dalam mendesain suatu bangunan untuk mengetahui tingkat risiko yang diizinkan pada bangunan yang direncanakan. Kategori risiko bangunan gedung dibedakan sesuai dengan fungsi dari bangunan yang akan dibangun berdasarkan SNI 1726:2019. Banyak faktor yang mempengaruhi dari tingkat kategori risiko bangunan seperti: tingkat risiko terhadap nyawa manusia saat terjadi kegagalan, keharusan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan, serta potensi menyebabkan dampak ekonomi. Untuk menentukan nilai kategori risiko dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 11 Kategori Risiko Bangunan

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<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 industry ➤ Fasilitas manufaktur ➤ Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung 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

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung, 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 non gedung 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>	III
<p>Gedung dan non gedung 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 	IV

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 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 non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV. 	IV

(Sumber : Tabel 3 SNI 1726:2019)

2.8.5.2 Faktor Keutamaan Gempa

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non-gedung sesuai SNI 1726:2019 Tabel 4, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan (I_e).

Tabel 2. 12 Faktor Keutamaan Gempa

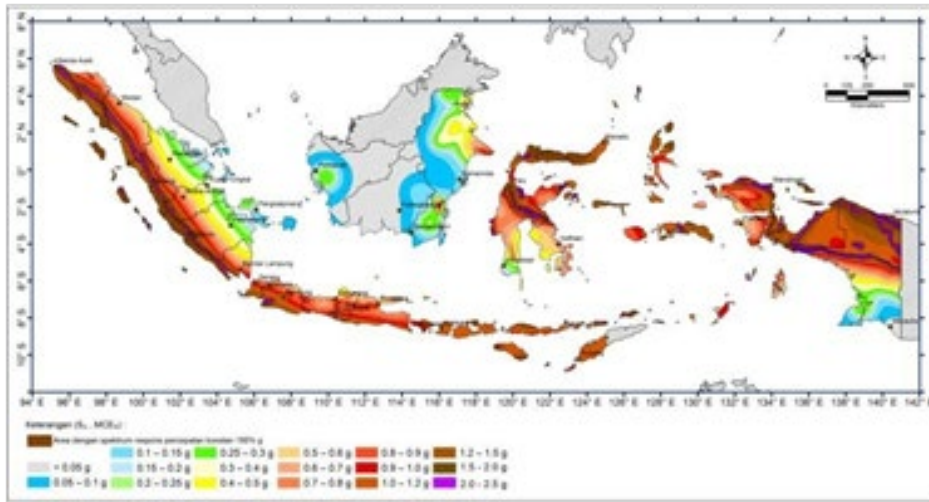
Kategori risiko	Faktor Keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber : SNI 1726:2019)

2.8.5.3 Menentukan S_s dan S_1

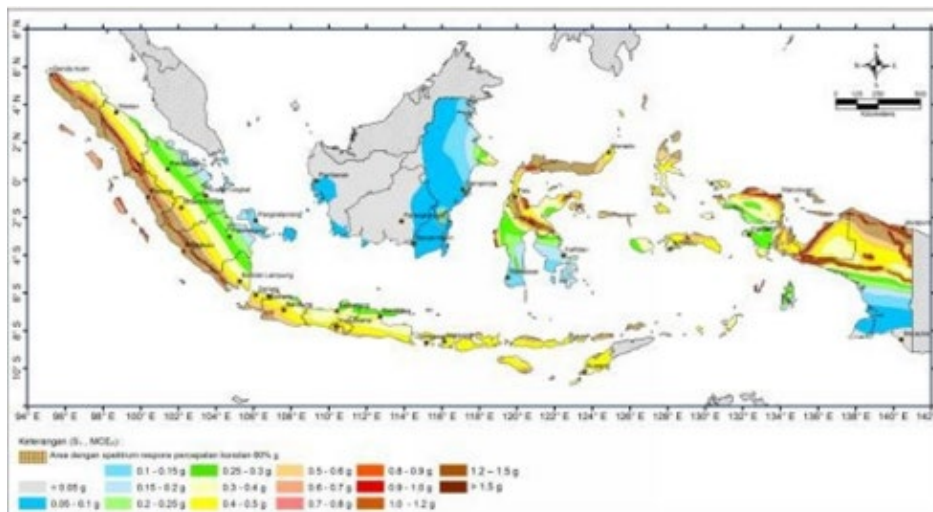
Nilai S_s (percepatan spektrum pada periode pendek, yaitu 0,2 detik) dan S_1 (percepatan spektrum pada periode 1 detik) merupakan parameter penting dalam analisis risiko seismik suatu wilayah, yang digunakan sebagai dasar dalam perhitungan gaya gempa rencana pada struktur bangunan. Kedua nilai ini mengacu pada peta percepatan gempa yang terdapat dalam SNI 1726:2019, di mana perbedaan nilai S_s dan S_1 sangat dipengaruhi oleh lokasi geografis atau zona seismik masing-masing daerah di Indonesia. Untuk menentukan besarnya nilai S_s dan S_1 pada suatu lokasi tertentu, dapat dilihat melalui peta gempa Indonesia yang

telah ditetapkan oleh standar tersebut, sebagaimana ditampilkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. 7 Peta Percepatan Gempa Saat 0,2 detik (S_s)

(Sumber: Gambar 15 SNI 1726:2019)



Gambar 2. 8 Peta Percepatan Gempa Saat 1 detik (S₁)

(Sumber: Gambar 16 SNI 1726:2019)

2.8.5.4 Menentukan Fa dan Fv

F_a dan F_v merupakan suatu hal yang digunakan dalam menentukan koefisien situs pada saat periode pendek dan 1 detik. F_a dan F_v yang dijelaskan pada SNI 1726:2019 dibedakan berdasarkan S_s dan S₁ yang sudah ditentukan sebelumnya. Untuk menentukan F_a dan F_v dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 13 Koefisien Situs Saat 0,2 detik (F_a)

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

(Sumber : Tabel 6 SNI 1726:2019)

Tabel 2. 14 Koefisien Situs Saat 0,2 detik (F_v)

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

(Sumber : Tabel 6 SNI 1726:2019)

2.8.5.5 Menentukan S_{MS} dan S_{M1}

S_{MS} dan S_{M1} merupakan suatu hal yang digunakan dalam menentukan parameter respons spektral pada saat periode pendek dan 1 detik. S_{MS} dan S_{M1} yang dijelaskan pada SNI 1726:2019 dibedakan berdasarkan S_s dan S_I yang sudah ditentukan sebelumnya. Untuk menentukan S_{MS} dan S_{M1} dapat dihitung menggunakan rumus dibawah ini.

$$S_{ms} = F_a \times S_s$$

Pers. 2- 26

$$S_{M1} = F_v \times S_I$$

Pers. 2- 27

Dimana :

S_{MS} = parameter respons spektral pada periode pendek

S_{M1} = parameter respons spektral pada 1 detik

F_a = koefisien situs pada periode pendek

F_v = koefisien situs pada 1 detik

S_s = percepatan gempa pada 0,2 detik

S_I = percepatan gempa pada 1 detik

2.8.5.6 Menentukan S_{DS} dan S_{D1}

S_{DS} dan S_{D1} merupakan suatu hal yang digunakan dalam menentukan parameter percepatan spektral pada saat periode pendek dan 1 detik. S_{DS} dan S_{D1} yang dijelaskan pada SNI 1726:2019 dibedakan berdasarkan S_{MS} dan S_{M1} yang sudah ditentukan sebelumnya. Untuk menentukan S_{DS} dan S_{D1} dapat dihitung menggunakan rumus dibawah ini.

$$S_{DS} = 2/3 \times S_{MS} \quad \text{Pers. 2- 28}$$

$$S_{D1} = 2/3 \times S_{M1} \quad \text{Pers. 2- 29}$$

Dimana :

S_{DS} = Parameter respon spektral pada periode pendek

S_{D1} = Parameter respon spektral pada 1 detik

S_{MS} = Parameter percepatan spektral pada periode pendek

S_{M1} = Parameter percepatan spektral pada 1 detik

2.8.5.7 Menentukan Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik merupakan klasifikasi penting dalam perencanaan struktur bangunan yang berfungsi untuk menentukan tingkat tanggapan seismik yang harus diakomodasi dalam desain. Menurut ketentuan dalam SNI 1726:2019, penetapan kategori desain seismik didasarkan pada nilai parameter percepatan respons spektrum, yaitu S_{DS} (percepatan respons spektrum jangka pendek) dan S_{D1} (percepatan respons spektrum untuk periode 1 detik), yang telah dihitung terlebih dahulu sesuai dengan lokasi dan kondisi tapak. Kategori ini digunakan sebagai dasar dalam memilih sistem struktur, tingkat daktilitas, serta strategi detailing struktur bangunan agar sesuai dengan risiko seismik yang mungkin terjadi. Informasi lebih lanjut mengenai klasifikasi kategori desain seismik dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 15 Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{DS}

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

(Sumber : Tabel 8 SNI 1726:2019)

Tabel 2. 16 Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{DI}

Nilai S_{DI}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	I atau II atau III
$S_{DI} < 0,67$	A	A
$0,067 \leq S_{DI} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DI} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DI}$	D	D

(Sumber : Tabel 9 SNI 1726:2019)

2.8.5.8 Menentukan Sistem Bangunan

Sistem struktur bangunan adalah bagian penting dalam perencanaan sebuah gedung karena menentukan bagaimana gedung tersebut menahan beban, terutama beban dari gempa bumi. Dalam peraturan SNI 1726:2019, pemilihan sistem struktur sangat bergantung pada tingkat risiko gempa di lokasi pembangunan, yang disebut dengan kategori desain seismik. Kategori ini didasarkan pada data percepatan gempa di daerah tersebut dan digunakan untuk menentukan sistem struktur yang paling tepat. Pemilihan sistem ini tidak hanya memengaruhi kekuatan bangunan, tetapi juga cara bangunan menyerap dan meredam energi gempa agar tetap berdiri kokoh. Setiap jenis sistem struktur memiliki aturan teknis tersendiri yang harus dipenuhi, seperti pengaturan tulangan dan sambungan antar elemen struktur. Informasi mengenai jenis-jenis sistem struktur dan cara memilihnya berdasarkan kategori desain seismik dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 17 Sistem Bangunan Pemikul Gaya Seismik

C. Sistem rangka pemikul momen								
Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R	Faktor kuat lebih sistem, Ω	Faktor pembesaran defleksi, C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	$4\frac{1}{2}$	3	4	TB	TB	10	TI	TI
4. Rangka baja pemikul momen biasa	$3\frac{1}{2}$	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	$4\frac{1}{2}$	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	$2\frac{1}{2}$	TB	TI	TI	TI	TI

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R	Faktor kuat lebih sistem, Ω	Faktor pembesaran defleksi, C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	$4\frac{1}{2}$	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	$5\frac{1}{2}$	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	$2\frac{1}{2}$	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	$3\frac{1}{2}$	3o	$3\frac{1}{2}$	10	10	10	10	10

(Sumber : Tabel 12 SNI 1726:2019)

Keterangan :

TB = Tidak Dibatasi

TI = Tidak Diizinkan

2.8.5.9 Menentukan Koefisien Respons Gempa

Koefisien respons gempa adalah koefisien yang digunakan untuk menentukan gaya geser dasar gempa. Koefisien respons mempunyai perhitungan yang dijelaskan pada SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1.1. Perhitungan nilai koefisien respons gempa dapat dijelaskan sebagai berikut.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{I_e} \quad \text{Pers. 2- 30}$$

Dimana :

 C_s = koefisien respons gempa S_{DS} = Parameter respons spektral pada periode pendek I_e = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai Tabel 4 SNI 1726:2019 R = koefisien reduksi gempa yang ditentukan sesuai Tabel 12 SNI 1726:2019

Nilai koefisien respons gempa diatas tidak boleh melebihi nilai batas atas koefisien respons gempa yang dijelaskan pada SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1.1 pada Pers 32. nilai batas atas koefisien respons gempa dapat dijelaskan sebagai berikut.

Nilai batas atas

$$C_{s \max} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad \text{Pers. 2- 31}$$

Nilai batas bawah

$$C_{s \min} = 0,044 S_{DS} I_e \quad \text{Pers. 2- 32}$$

Dimana :

 $C_{s \max}$ = Koefisien maksimum respons gempa S_{DS} = Parameter respons spektral pada periode pendek I_e = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai Tabel 4 SNI 1726:2019**2.8.5.10 Menentukan Gaya Geser Dasar Gempa**

Gaya geser dasar gempa adalah gaya yang digunakan untuk menentukan nilai suatu besar atau kecilnya gempa dalam bangunan tersebut. Gaya geser dasar

gempa mempunyai perhitungan yang dijelaskan pada SNI 1726:2019. Perhitungan nilai Gaya geser dasar gempa dapat dijelaskan sebagai berikut.

$$V = C_s W \quad \text{Pers. 2- 33}$$

Dimana :

V = gaya geser dasar gempa (kN)

C_s = koefisien respons gempa

W = berat total struktur (kN)

2.8.5.11 Menentukan Distribusi Gaya Geser Dasar Gempa

Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa, distribusi gaya geser dasar gempa merupakan aspek krusial yang menentukan pembagian gaya lateral seismik ke setiap lantai bangunan (Rifandi dkk, 2020). Distribusi gaya geser dasar gempa adalah distribusi yang digunakan untuk membagi gaya geser dasar gempa per lantai. Menurut SNI 1726:2019, distribusi ini dihitung menggunakan metode statik ekuivalen, yang mempertimbangkan massa dan ketinggian relatif setiap lantai terhadap dasar struktur. Distribusi gaya geser gempa bertujuan untuk membagi total gaya geser dasar (V) ke setiap lantai bangunan secara *proporsional*, berdasarkan berat seismik efektif (W_i) dan ketinggian lantai (h_i). Hal ini memastikan bahwa setiap elemen struktural dirancang untuk menahan beban gempa sesuai dengan posisinya. Distribusi gaya geser dasar gempa mempunyai perhitungan yang ada pada SNI 1726:2019. Perhitungan nilai Distribusi gaya geser dasar gempa dapat dijelaskan sebagai berikut.

$$F_x = C_{vx} V \quad \text{Pers. 2- 34}$$

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_x h_x^k} \quad \text{Pers. 2- 35}$$

Dimana :

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal

V = Geser di dasar struktur

W_i dan W_x = Bagian berat seismik efektif total struktur yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai berikut:

untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik = 1

untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik = 2

untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik = 2 atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

2.8.5.12 Menentukan Spektrum Respons Desain

Spektrum respons desain adalah grafik yang digunakan untuk menentukan hubungan percepatan gempa dan waktu. Spektrum respons desain mempunyai perhitungan yang ada pada SNI 1726:2019.

$$\text{Untuk } T < T_0 \quad S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad \text{Pers. 2- 36}$$

$$\text{Untuk } T_0 \leq T \leq T_s \quad S_a = S_{DS} \quad \text{Pers. 2- 37}$$

$$\text{Untuk } T_s < T < T_L \quad S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad \text{Pers. 2- 38}$$

$$\text{Untuk } T > T_L \quad S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad \text{Pers. 2- 39}$$

$$\text{Dengan,} \quad T_0 = 0,2 \frac{S_{DS}}{S_{D1}} \quad \text{Pers. 2- 40}$$

$$T_s = \frac{S_{DS}}{S_{D1}} \quad \text{Pers. 2- 41}$$

Dimana :

T = Periode waktu gempa (detik)

T₀ = Periode waktu gempa pada periode pendek (detik)

T_s = Periode waktu gempa pada 1 detik (detik)

T_L = Periode waktu gempa pada periode panjang (detik)

S_a = Percepatan tanah sesuai periode waktu yang ditentukan

S_{DS} = Parameter respons spektral pada periode pendek

S_{D1} = Parameter respons spektral pada 1 detik

2.9 Kontrol Dinamis

Kontrol dinamis merupakan kontrol yang digunakan untuk mengetahui perilaku bangunan secara dinamis. Kontrol dinamis yang dijelaskan pada SNI 1726:2019 meliputi kontrol jumlah ragam, kontrol nilai akhir respon spektrum, dan

kontrol nilai simpangan. Untuk menentukan kontrol dinamis dapat dijelaskan sebagai berikut.

2.9.1 Kontrol Jumlah Ragam

Kontrol jumlah ragam adalah kontrol yang digunakan untuk mengetahui jumlah banyaknya gerakan bangunan saat terkena gempa. Kontrol jumlah ragam mempunyai syarat yang dijelaskan pada SNI 1726:2019. Syarat kontrol jumlah ragam dapat dijelaskan sebagai berikut.

$$\text{Partisipasi massa ragam} = 100\% \text{ massa struktur} \quad \text{Pers. 2- 42}$$

Keterangan :

Partisipasi massa ragam didapat dari alat bantu software komputer seperti ETABS.

2.9.2 Kontrol Nilai Akhir Respons Spektrum

Kontrol nilai akhir respon spektrum adalah kontrol yang digunakan untuk mengetahui jumlah banyaknya gerakan bangunan saat terkena gempa. Kontrol nilai akhir respon spektrum mempunyai syarat yang dijelaskan pada SNI 1726:2019. Syarat kontrol nilai akhir respon spektrum dapat dijelaskan sebagai berikut.

$$\text{Base Shear Respons Spektrum} = 100\% \text{ Base Shear Statik Ekuivalen} \quad \text{Pers. 2- 43}$$

Keterangan :

Base Shear Respons Spektrum didapat dari alat bantu software komputer seperti ETABS

2.9.3 Kontrol Nilai Simpangan

Kontrol nilai simpangan adalah kontrol yang digunakan untuk mengetahui simpangan yang terjadi pada bangunan saat adanya beban gempa. Dalam desain struktur tahan gempa, kontrol nilai simpangan menjadi aspek krusial untuk memastikan bahwa deformasi relatif antar lantai masih berada dalam batas aman. Menurut SNI 1726:2019, kontrol nilai simpangan digunakan untuk mengevaluasi tingkat perpindahan relatif (*interstory drift*) yang terjadi akibat pembeban seismik, dengan tujuan utama untuk menjaga integritas struktural maupun elemen non-struktural seperti beban mati tambahan. Kontrol nilai simpangan mempunyai perhitungan yang dijelaskan pada SNI 1726:2019. Perhitungan nilai simpangan dapat dijelaskan sebagai berikut.

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

Pers. 2- 44

Dimana :

C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral yang ditentukan sesuai Tabel 12 SNI 1726:2019

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

l_e = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai Tabel 3 SNI 1726:2019

Nilai simpangan diatas harus memenuhi syarat nilai simpangan ijin yang dijelaskan pada SNI 1726:2019. Syarat nilai simpangan ijin dapat dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 2. 18 Simpangan antar lantai ijin

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	0,025hsx	0,20hsx	0,015hsx
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010hsx	0,010hsx	0,010hsx
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007hsx	0,007hsx	0,007hsx
Semua struktur lainnya	0,020hsx	0,015hsx	0,010hsx

(Sumber: Tabel 20 SNI 1726:2019)

2.10 Kapasitas Elemen Struktur Atas

Desain kapasitas adalah pendekatan dalam merancang bangunan tahan gempa yang bertujuan agar kerusakan terjadi pada bagian yang memang direncanakan untuk rusak terlebih dahulu dan dengan cara yang aman. Dalam hal ini, bagian seperti balok dibiarkan mengalami perubahan bentuk permanen lebih dulu saat terkena gempa besar, sementara bagian lain yang lebih penting seperti kolom harus tetap kuat dan hanya boleh berubah bentuk sementara dan bisa kembali seperti semula. Tujuannya adalah agar bangunan tidak tiba-tiba roboh tanpa peringatan.

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) adalah jenis sistem struktur yang paling kuat dalam menghadapi gempa, karena dirancang secara khusus agar mampu mengalami perubahan bentuk yang besar dan tetap aman selama gempa besar terjadi. Artinya, bangunan ini bisa menyesuaikan diri terhadap gerakan tanah yang kuat dengan melentur di beberapa bagian tanpa langsung rusak atau runtuh. Untuk menentukan desain kapasitas elemen struktur dapat dijelaskan sebagai berikut.

2.10.1 Kapasitas Elemen Balok

Balok SRPMK adalah elemen lentur utama dalam sistem struktur gedung bertingkat yang berfungsi menyalurkan beban gravitasi dan gempa menuju ke kolom dan akhirnya ke pondasi. Dalam sistem ini, balok dirancang menjadi elemen yang mengalami deformasi plastis terlebih dahulu saat terjadi gempa besar. Hal ini sesuai dengan prinsip “*strong column – weak beam*” yang menjadi inti dari desain kapasitas, di mana kerusakan direncanakan untuk terjadi pada balok, bukan pada kolom, agar sistem tetap stabil dan keruntuhan total dapat dicegah. Dalam SNI 2847:2019, terdapat beberapa ketentuan penting dalam mendesain balok SRPMK, yaitu:

A. Syarat Gaya dan Geometri

1) Syarat Gaya Aksial

Syarat gaya aksial diatur oleh SNI 2847:2019 pasal R18.6.1 dan 18.6.4.7 yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$P_u \leq 0,1 A_g f_c$$

Pers. 2- 45

Dimana:

P_u = Beban aksial

A_g = Luas total penampang

f_c' = Kekuatan tekan beton (Mpa)

2) Syarat Tinggi Efektif

Syarat tinggi efektif diatur oleh SNI 2847:2019 pasal 18.6.2.1 yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$L_n \geq 4d \quad \text{Pers. 2- 46}$$

Dimana:

L_n = Bentang bersih

d = Tinggi efektif penampang

3) Syarat Lebar 1

Syarat lebar 1 diatur oleh SNI 2847:2019 pasal 18.6.2.1 yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$b \geq 0,3 h \text{ atau } 250 \text{ mm} \quad \text{Pers. 2- 47}$$

Dimana:

b = Lebar balok

h = Tinggi balok

4) Syarat Lebar 2

Syarat lebar 2 diatur oleh SNI 2847:2019 pasal 18.6.2.1 yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$b \leq c_2 + 2 \times \min(c_2, 0.75 c_1) \quad \text{Pers. 2- 48}$$

Dimana:

b = Lebar balok

c_2 = Lebar kolom

c_1 = Panjang kolom

B. Syarat Tulangan Lentur

1) Luas Tulangan (A_s)

Luas tulangan diatur oleh SNI 2847:2019 pasal 9.6.1.2 yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$A_s \text{ Pasang} = n \times \pi/4 \times d_b^2 \quad \text{Pers. 2- 49}$$

$$A_{s \text{ min1}} = \frac{\sqrt{f_c}}{4 \times f_y} b \times d \quad \text{Pers. 2- 50}$$

$$A_{s \text{ min2}} = \frac{1,4}{4 \times f_y} b \times d \quad \text{Pers. 2- 51}$$

Dimana:

d_b = Diameter tulangan longitudinal

b = Lebar penampang (mm)

d = Tinggi efektif penampang

$A_{s \text{ Pasang}}$ = Luas tulangan yang dipasang (mm^2)

n = Jumlah tulangan

F_c = Kekuatan tekan beton (Mpa)

F_y = Kekuatan tarik tulangan (Mpa)

2) Rasio Tulangan (ρ)

Rasio tulangan diatur oleh SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.1 yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$\rho = A_s / (b \times d) \quad \text{Pers. 2- 52}$$

$$\rho_{\text{max1}} = 0,75 \times \rho_b \quad \text{Pers. 2- 53}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \times \beta_1 \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad \text{Pers. 2- 54}$$

$$\rho_{\text{max2}} = 0,025 \quad \text{Pers. 2- 55}$$

Dimana:

F_c = Kekuatan tekan beton (Mpa)

F_y = Kekuatan tarik tulangan (Mpa)

β_1 = Faktor distribusi tegangan beton

ρ_b = Rasio tulangan balance

ρ = Rasio tulangan

ρ_{max} = Rasio tulangan maksimum

b = Lebar penampang (mm)

d = Tinggi efektif penampang

A_s = Luas tulangan (mm^2)

3) Momen Nominal (M_n)

Perhitungan momen nominal lentur diatur oleh SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1, yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad \text{Pers. 2- 56}$$

Dimana:

M_n = Momen nominal lentur (kNm)

A_s = Luas tulangan (mm^2)

f_y = Kekuatan tarik tulangan (Mpa)

d = Tinggi efektif penampang

a = Garis netral atau Jarak dari serat tekan ke resultan gaya tekan (mm)

4) Faktor Reduksi (ϕ)

Dalam perencanaan struktur beton bertulang, faktor reduksi (dilambangkan dengan ϕ) merupakan elemen penting yang digunakan untuk mengakomodasi ketidakpastian dalam kekuatan material, dimensi elemen, serta asumsi-asumsi desain. Faktor ini bertujuan untuk memastikan bahwa struktur memiliki tingkat keamanan yang memadai terhadap berbagai kemungkinan kegagalan. Faktor reduksi diatur oleh SNI 2847:2019 yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 2. 19 Faktor Reduksi Beton

	Gaya atau Elemen Struktur	ϕ	Pengecualian
a)	Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65 – 0,90 sesuai 21.2.2	Di dekat ujung komponen pratarik (<i>pretension</i>) dimana <i>strand</i> belum sepenuhnya bekerja, ϕ harus sesuai dengan 21.2.3
b)	Geser	0,75	Persyaratan tambahan untuk struktur tahan gempa terdapat pada 21.2.4
c)	Torsi	0,75	-
d)	Tumpu (<i>bearing</i>)	0,65	-
e)	Zona angkur pascatarik (<i>post-tension</i>)	0,85	-
f)	<i>Bracket</i> dan korbel	0,75	-

	Gaya atau Elemen struktur	ϕ	Pengecualian
g)	<i>Strut, ties</i> , zona nodal, dan daerah tumpuan yang dirancang dengan <i>strut and-tie</i> di Pasal 23	0,75	-
h)	Komponen sambungan beton pracetak terkontrol leleh oleh elemen baja dalam tarik	0,90	-
i)	Beton polos	0,60	-
j)	Angkur dalam elemen beton	0,45 – 0,75 sesuai pasal 17	-

(Sumber : Tabel 21.2.1 SNI 2847:2019)

5) Selimut Beton Cover

Selimut beton didefinisikan sebagai lapisan beton yang mengelilingi tulangan, berfungsi melindungi tulangan dari pengaruh lingkungan eksternal seperti kelembaban, suhu ekstrem, dan zat kimia yang dapat menyebabkan korosi. Selimut beton diatur oleh SNI 2847:2019 yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 2. 20 Selimut Beton

Paparan	Komponen Struktur	Tulangan	Ketebalan Selimut
Dicor dan secara permanen kontak dengan tanah	Semua	Semua	75
Terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Semua	Batang D19 - D57	50
		Batang D16, Kawat Ø13 atau D13 dan yang lebih kecil	40
Tidak terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Pelat, pelat berusuk dan dinding	Batang D43 dan D57	40
		Batang D36 dan yang lebih kecil	20
	Balok, kolom, pedestal dan batang tarik	Tulangan utama, sengkang, sengkang ikat, spiral dan sengkang pengekang	40

(Sumber : Tabel 20.6.1.3.1 SNI 2847:2019)

6) Tinggi Efektif Penampang

Tinggi efektif penampang diatur oleh SNI 2847:2019 yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$d = h - C_c - d_s - d_b/2 \quad \text{Pers. 2- 57}$$

Dimana:

C_c = Selimut bersih beton

h = Tinggi balok

d_s = Diameter tulangan sengkang

d_b = Diameter tulangan longitudinal

7) Garis Netral (a)

Garis netral diatur oleh SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1 yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$a = \frac{A_s F_y}{0,85 F_c b} \quad \text{Pers. 2- 58}$$

Dimana:

a = Garis netral atau Jarak dari serat tekan ke resultan gaya tekan (mm)

A_s = Luas tulangan

F_y = Kekuatan tarik baja (Mpa)

F_c = Kekuatan tekan beton (Mpa)

b = Lebar penampang (mm)

C. Gaya Geser Desain

Perhitungan gaya geser desain diatur oleh SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5.1, yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$V_e = V_g + V_{pr} \quad \text{Pers. 2- 59}$$

Dimana:

V_e = Gaya geser desain total yang harus ditahan oleh elemen struktur (kN)

V_g = Gaya geser akibat kombinasi beban gravitasi terfaktor (kN)

V_{pr} = Gaya geser tambahan akibat pengaruh gaya lentur plastis pada ujung balok

D. Desain Torsi

Perhitungan torsi retak (torsi retak nominal) diatur oleh SNI 2847:2019 yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$T_{cr} = 0.33 \times (f_c')^{0.5} \times \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \quad \text{Pers. 2- 60}$$

Dimana:

T_{cr} = Torsi retak (kNm), yaitu nilai batas awal ketika penampang mulai mengalami retak akibat torsi

A_{cp} = Luas penampang beton total yang mengelilingi sumbu torsi (mm²)

2.10.2 Kapasitas Elemen Kolom

Dalam struktur gedung bertingkat tahan gempa, kolom adalah bagian vertikal utama yang sangat penting untuk menahan beban dari atas maupun gaya dorongan akibat gempa. Pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), kolom tidak hanya berperan sebagai penopang vertikal, tetapi juga dirancang agar tetap dapat kembali ke bentuk semula (tidak rusak permanen) saat terjadi gempa besar. Tujuannya adalah supaya bagian baloklah yang boleh mengalami perubahan bentuk permanen terlebih dahulu, bukan kolom. Kolom dalam sistem SRPMK harus dibuat lebih kuat daripada balok, terutama di titik-titik pertemuan (sendi struktur). Hal ini sesuai dengan prinsip “kolom lebih kuat dari balok” yang diatur dalam SNI 2847:2019. Dengan cara ini, diharapkan baloklah yang mengalami kerusakan terkontrol saat gempa, seperti bengkok atau retak, sementara kolom tetap kokoh dan tidak mengalami kerusakan permanen. Ini penting agar jika struktur mengalami kerusakan, kerusakannya bisa diprediksi dan tidak menyebabkan runtuhnya seluruh bangunan.

A. Syarat Gaya dan Geometri

1) Syarat Gaya Aksial

Syarat gaya aksial diatur oleh SNI 2847:2019 pasal R18.6.1 dan 18.6.4.7 yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$P_u \leq 0,1 A_g f_c \quad \text{Pers. 2- 61}$$

Dimana:

P_u = Beban aksial

A_g = Luas total penampang

f_c' = Kekuatan tekan beton (Mpa)

2) Syarat Sisi Terpendek

Syarat Sisi Terpendek diatur oleh SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1 yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$\frac{b}{h} \geq 0,4 \quad \text{Pers. 2- 62}$$

Dimana:

b = Sisi pendek kolom / lebar kolom (mm)

h = Sisi panjang kolom (mm)

3) Syarat Rasio Dimensi Penampang

Syarat Rasio Dimensi Penampang diatur oleh SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1 yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$b \geq 300 \text{ mm} \quad \text{Pers. 2- 63}$$

Dimana:

b = sisi pendek kolom / lebar kolom (mm)

B. Perhitungan Tulangan Longitudinal

Perhitungan tulangan longitudinal Penulangan utama pada kolom umumnya di cek berdasarkan diagram interaksi dimana $M_u < \Phi M_n$ berdasarkan kombinasi maksimum dan 18 minimum. Pada pengecekan tulangan utama dengan diagram interaksi akan digunakan program SPcolumn.

C. Rasio Tulangan (ρ)

Menurut SNI 2847-2019 pasal 18.7.4.1, rasio penulangan ρ dibatasi tidak boleh kurang dari 1 % dan tidak lebih dari 6%.

D. Pengecekan syarat kolom kuat balok lemah / (*Strong Column – Weak Beam*)

Menurut SNI 2847-2019 pasal 18.7.3.2 kekuatan kolom harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

$$\sum M_n \text{ Kolom} \geq (1.2) \sum M_n \text{ Balok} \quad \text{Pers. 2- 64}$$

Dimana:

$\sum M_n$ kolom = jumlah M_n dua kolom yang bertemu di joint

$\sum M_n$ balok = jumlah M_n dua balok yang bertemu di joint

Kekuatan nominal adalah kekuatan elemen struktur sebelum dikalikan faktor reduksi atau Φ .

E. Daerah Sendi Plastis

Daerah sendi plastis diatur oleh SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.1 yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$l_o = \max \left(h, \frac{L_n}{6}, 450 \right) \quad \text{Pers. 2- 65}$$

F. Confinement/Kekangan Zona Sendi Plastis

Kekangan zona sendi plastis diatur oleh SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.4 yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

1) Zona Sendi Plastis:

$$\text{a) } \frac{Ash}{s} 1 = \frac{0,3 \times b_c \times F_c}{F_y} \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \quad \text{Pers. 2- 66}$$

$$\text{b) } \frac{Ash}{s} 2 = \frac{0,09 \times b_c \times F_c}{F_y} \quad \text{Pers. 2- 67}$$

Dimana:

Ash = Luas penampang tulangan sengkang (sengkang transversal) (mm²)

S = Jarak atau spasi antar Sengkang (mm)

bc = Dimensi sisi pendek dari penampang kolom (mm)

Ag = Luas total penampang kolom (mm²)

Ach = Luas penampang inti kolom yang dikekang oleh tulangan spiral atau sengkang, diukur hingga ke pusat sengkang (mm²)

Fy = Kekuatan tarik baja (Mpa)

Fc = Kekuatan tekan beton (Mpa)

2) Syarat Spasi

Syarat spasi diatur oleh SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3 yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$S \leq \min \left(\frac{b}{4}, \frac{6}{d_b}, s_o \right) \quad \text{Pers. 2- 68}$$

$$S_o = 100 \leq 100 + \frac{350-hx}{3} \leq 150 \quad \text{Pers. 2- 69}$$

2.11 ETABS

Program ETABS (*Extended Three Dimensional Analysis of Building System*) merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan analisis dan desain struktur bangunan secara cepat dan akurat. Dengan antarmuka pengguna *user interface* yang menarik serta dilengkapi berbagai alat *tools* yang mudah

digunakan, ETABS sangat membantu proses perancangan struktur bangunan. Sebelumnya, proses ini dilakukan secara manual, yang memerlukan waktu lebih lama dengan tingkat akurasi yang kurang terjamin (Purnamasari dkk., 2019).

Lebih lanjut, ETABS memiliki kemampuan menghitung rentang waktu (*time history*) secara otomatis serta memfasilitasi pembangkitan beban lateral statis secara otomatis dalam analisis gempa. Perangkat lunak ini dirancang khusus untuk sistem bangunan, dengan antarmuka yang intuitif serta kemampuan komprehensif dalam pemodelan, analisis, desain, hingga perincian struktur. ETABS tidak hanya cocok untuk struktur sederhana, tetapi juga mampu menangani model kompleks dan perilaku nonlinier yang dibutuhkan dalam desain berbasis kinerja. ETABS menjadi alat andalan para insinyur struktur dalam menyelesaikan berbagai proyek teknik sipil (Giwa dkk., 2024).

ETABS juga unggul dalam integrasi pemodelan struktur secara tiga dimensi (3D), yang memungkinkan analisis spasial menyeluruh dengan tingkat presisi tinggi. Perangkat lunak ini mampu melakukan analisis dinamika struktur, seperti *response spectrum* dan *time history*, yang sangat penting dalam mengevaluasi kinerja bangunan terhadap beban gempa. ETABS juga dilengkapi fitur analisis *pushover* yang mendukung pendekatan *performance-based design* (PBD), serta memungkinkan pengguna menyisipkan elemen peredam energi seperti *Fluid Viscous Damper* (FVD) ke dalam model struktur. Kemampuan ini memberikan fleksibilitas dan kedalaman simulasi untuk skenario beban ekstrem yang tidak dapat dilakukan melalui metode manual. Lebih lanjut, ETABS mendukung kompatibilitas lintas platform dengan perangkat lunak arsitektur dan *Building Information Modeling* (BIM) seperti AutoCAD dan Revit, sehingga mempercepat alur kerja *workflow* perencanaan dan dokumentasi proyek (CSI, 2023).

Penggunaan *Fluid Viscous Damper* (FVD) dalam struktur gedung telah terbukti secara empiris mampu meningkatkan kinerja seismik bangunan, dan ETABS merupakan salah satu alat yang paling efektif untuk menganalisis integrasi tersebut. Penelitian oleh Giwa dkk. (2024) menunjukkan bahwa penerapan FVD pada gedung 24 lantai di Lagos melalui simulasi ETABS mampu mengurangi perpindahan lateral hingga 20%, *interstory drift* sebesar 24%, dan gaya momen

overturning sebesar 29%. Temuan ini menunjukkan bahwa ETABS mampu memberikan representasi yang realistis terhadap pengaruh peredam energi pada sistem struktur tinggi.

Studi serupa oleh Pribadi dkk. (2023) juga menggunakan ETABS untuk menganalisis variasi jumlah lantai pada struktur gedung dengan penambahan FVD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reduksi waktu getar alami dapat mencapai hingga 49,75%, serta terjadi peningkatan efisiensi gaya geser dasar sebesar 28,87% pada struktur 12 lantai. Hal ini memperkuat efektivitas ETABS dalam mensimulasikan respons struktur akibat penggunaan FVD, serta memberikan dasar yang kuat untuk desain bangunan tahan gempa berbasis peredam energi.

Sementara itu, penelitian oleh Hajati dkk. (2022) mengevaluasi berbagai pola penempatan FVD pada struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Dengan memanfaatkan ETABS, mereka menyimpulkan bahwa penempatan FVD secara strategis dapat meningkatkan performa struktur secara signifikan, terutama dalam hal simpangan antar tingkat, gaya geser, dan waktu getar. Hasil ini kembali menegaskan keunggulan ETABS dalam simulasi nonlinier dan desain berbasis kinerja untuk struktur tahan gempa.

