

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 Struktur Gedung

Struktur gedung adalah sistem elemen struktural yang berfungsi memikul dan menyalurkan beban ke pondasi, yang terdiri dari balok, kolom, dan lantai. Perencanaan struktur bertujuan menjamin keamanan, kenyamanan, dan efisiensi konstruksi dengan memastikan seluruh elemen mampu menahan beban mati, beban hidup, serta beban lateral akibat angin dan gempa sesuai peraturan yang berlaku.

Menurut (Nurlina dkk., 2016) Terdapat 3 faktor utama dalam perencanaan struktur bangunan yaitu kekakuan, kekuatan, dan daktilitas. Kekakuan mencegah goyangan berlebih, sedangkan kekuatan memastikan bangunan tidak runtuh. Daktilitas, meskipun sering diabaikan, sangat penting saat bangunan menghadapi beban ekstrem seperti gempa besar. Struktur yang dirancang dengan daktilitas tinggi memungkinkan penghuni memiliki waktu untuk menyelamatkan diri jika terjadi keruntuhan mendadak.

Setiap elemen struktur, baik kolom maupun balok, harus memiliki kekuatan, kekakuan, dan ketahanan yang memadai agar dapat berfungsi optimal selama masa layanannya. Elemen-elemen ini menahan berbagai gaya seperti momen, gaya normal, dan gaya geser, meskipun dengan proporsi yang berbeda. Kolom umumnya menahan gaya normal, baik tekan maupun tarik, yang menimbulkan tegangan normal pada elemen tersebut (Anderson & Ferry, 2023).

2.2 Sistem Kolom Pada Struktur Gedung

Kolom merupakan elemen vertikal pada struktur rangka yang berfungsi menyalurkan beban dari balok ke bawah hingga ke pondasi. Sebagai komponen tekan, kegagalan pada kolom sangat kritis karena dapat menyebabkan runtuhnya lantai terkait, bahkan berpotensi memicu keruntuhan total seluruh struktur. (Alfirdaus dkk., 2019). Dalam sistem struktur, material utama yang digunakan untuk kolom adalah beton dan baja.

2.2.1 Material Beton

Beton adalah material komposit yang terdiri dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar, air, serta bahan tambahan jika diperlukan, dengan proporsi tertentu. Kualitas beton sangat dipengaruhi oleh mutu dari setiap bahan penyusunnya (Alfirdaus dkk., 2019).

Menurut (Firda dkk., 2021) Beton memiliki banyak keunggulan, antara lain kuat tekan yang tinggi, tahan terhadap api dibanding baja, struktur yang kaku, umur layan panjang, biaya perawatan rendah, fleksibel dalam pembentukan penampang, serta tidak memerlukan banyak tenaga kerja terampil.

2.2.2 Material Baja

Menurut (Ghazali dkk., 2020) Baja merupakan material struktur yang banyak digunakan karena kekuatan tarik dan tekannya tinggi dalam volume yang relatif kecil. Selain itu, baja memiliki beberapa keunggulan lain sebagai berikut:

1. Kekuatan tinggi : Memungkinkan desain ramping dan bentang panjang.
2. Mudah dipasang : Komponen dapat dipabrikasi dan cepat dirakit di lapangan.
3. Seragam : Sifatnya konsisten, memudahkan perencanaan.
4. Daktail : Tahan deformasi tanpa patah, aman saat gempa.

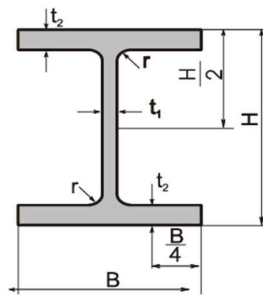
Meskipun memiliki banyak keunggulan, baja juga memiliki kelemahan seperti ketahanan rendah terhadap korosi dan suhu tinggi, berat, serta biaya yang relatif tinggi (Leman dkk., 2024).

2.2.2.2 Profil Baja

Dalam konstruksi, baja struktural tersedia berbagai profil yang dipilih sesuai dengan karakteristik pembebanan, seperti beban tekan, tarik, dan lentur. Pemilihan profil yang tepat sangat berpengaruh terhadap kekuatan dan efisiensi struktur.

Salah satu profil baja struktural memiliki penampang berbentuk huruf “H” dengan sayap yang lebar dan simetris terhadap sumbu netral. Bentuk penampang ini efektif dalam menahan beban aksial dan lentur, sehingga banyak digunakan sebagai elemen utama struktur seperti kolom dan balok. Bentuk profil ini dapat

dilihat pada Gambar 2. 1. Karakteristik bentuk profil *HB* meliputi tinggi badan (H), lebar sayap (B) tebal badan (t_1), tebal sayap (t_2) dan radius sudut (r).



Gambar 2. 1 Profil baja *H-Beam* (H)

Sumber : (PT. Gunung Garuda, 2014)

2.2.2.3 Sifat Mekanis Baja

Berdasarkan SNI 1729:2020, kekuatan baja ditentukan oleh sifat mekanisnya dalam menahan gaya, sebagaimana disajikan pada Tabel 2. 1.

Tabel 2. 1 Sifat mekanis baja struktural berdasarkan mutu baja

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, F_u (MPa)	Tegangan leleh minimum, F_y (MPa)	Peregangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Sumber : (Badan Standardisasi Nasional, 2020)

2.3 Sambungan Pada Struktur

Menurut (Dewobroto, 2001), sambungan baja menghubungkan elemen struktur secara stabil dan menyalurkan beban. 2 jenis sambungan umum adalah :

2.3.1 Sambungan Baut

Sambungan baut adalah sambungan yang menggunakan baut dan mur sebagai media pengikat dua atau lebih elemen baja. Sistem ini banyak digunakan

karena lebih mudah dipasang di lapangan dan memungkinkan pembongkaran atau perbaikan tanpa merusak elemen struktur.

2.3.1.1 Jenis-Jenis Sambungan Baut

Sambungan baut sering digunakan dalam konstruksi baja karena mudah dipasang dan dibongkar. Berdasarkan mutu dan penggunaannya, sambungan baut terbagi menjadi 2 jenis utama :

1. Baut hitam adalah tipe baut yang digunakan pada konstruksi ringan hingga sedang seperti konstruksi gedung. Baut ini terbuat dari bahan baja lunak ($St-34$) dengan ukuran kelonggaran 1 mm antara diameter lubang sambungan dan diameter batang baut. Baut ini tergolong baut mutu normal dimana berspesifikasi *ASTM A307* dan terbuat dari baja karbon mutu rendah.
2. Baut pass adalah jenis baut mutu tinggi ($St > 420$) yang digunakan untuk penyambungan konstruksi berat, seperti jembatan. Baut ini dipasang dengan kelonggaran sangat kecil antara lubang pelat dan diameter baut (kurang dari 0,1 mm), sehingga menghasilkan sambungan yang lebih kaku dan presisi.

2.3.1.2 Kekuatan Material Sambungan Baut

Berdasarkan SNI 1729:2020, kekuatan baut pada sambungan merupakan aspek penting dalam menjamin keamanan dan kestabilan struktur baja. Baut harus memenuhi persyaratan kekuatan untuk menahan beban geser dan tarik. Spesifikasi tipe baut yang digunakan dalam perencanaan disajikan pada Tabel 2. 2.

Tabel 2. 2 Tipe baut dan spesifikasinya

Tipe Baut	Diameter (mm)	<i>Proof stress</i> (MPa)	Kuat Tarik Min.(MPa)
<i>A307</i>	6.35 - 104	-	60
<i>A325</i>	12.7 – 25.4	585	825
	28.6 – 38.1	510	725
<i>A490</i>	12.7 – 38.1	825	1035

Sumber : (Badan Standardisasi Nasional, 2020)

2.3.2 Sambungan Las

Pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Mengelas adalah suatu aktifitas menyambung dua bagian logam atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh. Penyambungan bisa dengan atau tanpa bahan tambah (*filler metal*) yang sama atau berbeda titik cair maupun strukturnya (Azwinur dkk., 2019).

2.3.2.1 Jenis-Jenis Sambungan Las

Sambungan las merupakan salah satu metode penyambungan permanen yang banyak digunakan dalam konstruksi baja. Berdasarkan bentuk dan fungsinya, sambungan las dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, antara lain:

1. Las tumpul (*groove welds*), las ini dipakai untuk menyambung batang-batang sebidang.
2. Las sudut (*fillet welds*), tipe las ini paling banyak dijumpai dibandingkan tipe las yang lain, 80% sambungan las menggunakan tipe las sudut.

2.3.2.2 Kekuatan Material Sambungan Las

Berdasarkan SNI 1729:2020, elektroda untuk *electric arc welding* diberi kode huruf E diikuti empat digit, misalnya E6018. Dua digit pertama menunjukkan kuat tarik sambungan (ksi), digit ketiga menunjukkan posisi pengelasan, dan digit terakhir menunjukkan karakteristik pengelasan dan disajikan pada Tabel 2. 3.

Tabel 2. 3 Kekuatan elektroda las

<i>Electroda Number</i>	<i>Ultimate Tensile Strength, S_u (ksi)</i>	<i>Yield Strength, S_y (ksi)</i>	<i>Elongation, ek (%)</i>
E60XX	62	50	17–25
E70XX	70	57	22
E80XX	80	67	19
E90XX	90	77	14–17

Sumber : (Badan Standardisasi Nasional, 2020)

2.4 Kolom Baja Konvensional

Kolom baja konvensional adalah elemen vertikal dari profil baja *H-beam* yang menahan beban aksial dari lantai atau struktur di atasnya dan menyalurkannya ke pondasi, tanpa kombinasi dengan material lain.

Profil *H-beam* pada kolom baja konvensional dipilih karena penampangnya simetris, *flens* lebar, dan mampu menahan beban tekan serta lentur dengan baik. Selain itu, pemasangannya di lapangan cepat dan efisien, sehingga umum digunakan pada bangunan bertingkat.

2.5 Kolom Komposit Baja-Beton

kolom komposit baja-beton, tujuannya untuk menggabungkan kelebihan-kelebihan dari dua material tersebut. Kolom komposit banyak digunakan untuk memperkuat bangunan tinggi. Struktur komposit baja-beton menggunakan karakteristik dasar dari masing-masing material secara optimal, sehingga dapat menahan beban dengan dimensi penampang yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur beton bertulang tanpa komposit (Nursani dkk., 2022).

Baja komposit memiliki beberapa keunggulan sebagai material konstruksi, di antaranya kekuatan tinggi yang memungkinkan pengurangan dimensi dan berat struktur. Sifat daktilitasnya juga tinggi, karena baja mampu mengalami regangan besar sebelum patah. Selain itu, ketika dilapisi beton, baja menjadi lebih tahan terhadap korosi, benturan, dan kebakaran, serta terlindungi dari pengaruh lingkungan seperti udara, air, suhu ekstrem, dan zat korosif seperti garam (asam klorida) (Munawar dkk., 2018).

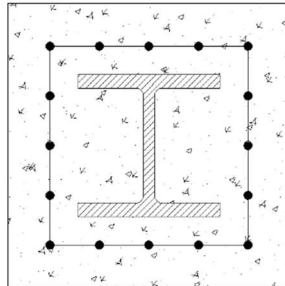
2.5.1 Jenis Kolom Komposit

Menurut (Propika dkk., 2020) Jenis kolom komposit terdiri dari dua, yaitu :

2.5.1.1 Kolom Komposit *Inside Steel*

Kolom komposit terbungkus beton adalah kolom komposit yang terbuat dari profil baja yang diberi selubung beton di sekeliling (kolom baja berselubung beton) (Propika dkk., 2020). Penambahan beton dapat menunda terjadinya kegagalan lokal *buckling* pada profil baja serta berfungsi sebagai material penahan api, sementara

itu material baja disini berfungsi sebagai penahan beban yang terjadi setelah beton gagal (Meillyta & Vuardi, 2019). Contoh bentuk kolom komposit terbungkus beton dapat dilihat pada Gambar 2. 2.

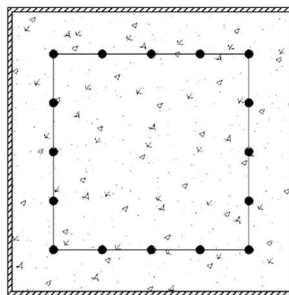


Gambar 2. 2 Kolom komposit *inside steel*

Sumber : (Propika dkk., 2020)

2.5.1.2 Kolom Komposit *Outside Steel*

Kolom komposit terisi beton adalah kolom komposit yang terbuat dari penampang baja berongga dan diisi beton didalamnya (kolom baja berisikan beton) (Propika dkk., 2020). kehadiran material baja dapat meningkatkan kekuatan dari beton serta beton dapat menghalangi terjadinya lokal *buckling* pada baja (Meillyta & Vuardi, 2019). Contoh bentuk kolom komposit terisi beton pada Gambar 2. 3.



Gambar 2. 3 Kolom komposit *outside steel*

Sumber : (Propika dkk., 2020)

2.6 Beban Pada Struktur Gedung

2.6.1 Beban Mati

Berdasarkan PPURG 1987 Pasal 2.1.1, beban mati adalah berat keseluruhan material dan komponen yang terpasang pada bangunan, termasuk dinding, lantai,

atap, elemen struktural, serta peralatan terpasang. Berat bahan dan komponen gedung dapat dilihat pada Tabel 2. 4 sesuai pedoman perencanaan pembebanan.

Tabel 2. 4 Beban mati desain minimum (kN/m³)

Bahan Bangunan	Berat (kg/m³)
Baja	7850
Beton bertulang	2400
Pasangan bata merah	1700
Pasir (kering udara sampai lembab)	1600
Pasir (jenuh air)	1800
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1850

Komponen Gedung	Berat(kg/m²)
Adukan, per cm tebal :	
- Dari semen	21
- Dari kapur, semen merah atau tras	17
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14
- Satu batu	450
- Setengah batu	250
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari :	
- Semen asbes (eternit dan bahan lain sejenisnya), dengan tebal maksimum 4 mm	11
- Kaca, dengan tebal 3-5 mm	10

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum, 1987)

2.6.2 Beban Hidup

Berdasarkan Pasal 4.3.1 SNI 1727:2020, beban hidup adalah beban akibat aktivitas pengguna atau penghuni bangunan, di luar beban mati dan beban lingkungan seperti angin, hujan dan gempa. Nilai beban hidup lantai gedung disajikan pada Tabel 2. 5.

Tabel 2. 5 Beban hidup minimum terdistribusi

Hunian atau Penggunaan		Merata (kN/m ²)
Garasi/Parkir		
-	Mobil penumpang saja	1,92
Gedung perkantoran		
-	Lobi dan koridor lantai pertama	4,79
-	Kantor	2,40
-	Koridor diatas lantai pertama	3,83
Atap		
-	Atap datar, berhubungan dan lengkung	0,96
Awning dan kanopi		
-	Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka	0,24

Sumber : (Badan Standarisasi Nasional, 2020)

2.6.3 Beban Angin

2.6.3.1 Kecepatan Angin Dasar (V)

Disebutkan dalam Pasal 26.5.1 SNI Nomor 1727 Tahun 2020 kecepatan angin dasar (V) yang digunakan dalam perhitungan beban angin desain untuk bangunan gedung dan struktur lain harus diambil dari Buku Peta Angin Indonesia.

2.6.3.2 Faktor Arah Angin (K_d)

Bersarkan Pasal 26.6 SNI 1727:2020, perhitungan beban angin untuk SPGAU mencakup faktor arah angin (K_d) yang nilainya diambil dari Tabel 2. 6.

Tabel 2. 6 Faktor arah angin

Tipe Struktur		Faktor Arah Angin (K _d)
Bangunan Gedung		
-	Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU)	0,85
-	Komponen dan Klading (K&K)	0,85

Sumber : (Badan Standarisasi Nasional, 2020)

2.6.3.3 Kategori *Eksposur*

Berdasarkan Pasal 26.7.2 SNI 1727:2020, *eksposur* arah melawan angin pada setiap arah angin yang diperhitungkan, berdasarkan kepada kekasaran permukaan tanah yang ditentukan dari topografi alam, vegetasi, dan fasilitas.

Kekasaran permukaan tanah digolongkan ke dalam beberapa kategori, yaitu:

- a. Kekasaran Permukaan B : Daerah perkotaan dan pinggiran kota, daerah berhutan, atau daerah lain dengan penghalang berjarak dekat seukuran tempat tinggal keluarga-tunggal atau lebih besar dalam jumlah banyak.
- b. Kekasaran Permukaan C : Dataran terbuka dengan penghalang tersebut yang memiliki tinggi umumnya kurang dari 30 ft (9,1m). Kategori ini mencakup daerah terbuka datar dan padang rumput.
- c. Kekasaran Permukaan D : Permukaan datar, area tanpa halangan dan permukaan air. Kategori ini termasuk hamparan lumpur halus.

Adapun kategori *eksposur* sebagai berikut :

- *Eksposur* B berlaku untuk bangunan dengan kekasaran permukaan tanah kategori B. Untuk bangunan dengan tinggi atap rata-rata ≤ 30 ft (9,1 m), *Eksposur* ini berlaku jika kekasaran permukaan B terdapat pada arah datang angin sejauh > 1.500 ft (457 m). Untuk bangunan dengan tinggi atap rata-rata > 30 ft (9,1 m), *eksposur* B berlaku jika kekasaran permukaan B berada pada arah melawan angin sejauh > 2.600 ft (792 m) atau ≥ 20 kali tinggi bangunan
- *Eksposur* C untuk semua kasus di mana *eksposur* B atau D tidak berlaku.
- *Eksposur* D berlaku apabila kekasaran permukaan tanah kategori D terdapat pada arah melawan angin sejauh > 5.000 ft (1.524 m) atau ≥ 20 kali tinggi bangunan. *Eksposur* ini juga berlaku jika permukaan tanah di sekitar lokasi pada arah melawan angin berupa kategori B atau C hingga jarak 600 ft (183 m) atau ≥ 20 kali tinggi bangunan.

2.6.3.4 Faktor Topografi (K_{zt})

Disebutkan dalam Pasal 26.8.2 SNI 1727:2020, lokasi bangunan dan kondisi situs tidak memenuhi ketentuan tertentu, maka faktor topografi (K_{zt}) diambil sebesar 1,0.

2.6.3.5 Faktor Elevasi Permukaan Tanah (K_e)

Disebutkan dalam Pasal 26.10.1 SNI 1727:2020, faktor elevasi permukaan tanah (K_e) harus ditentukan berdasarkan pada Tabel 2. 7 di bawah ini.

Tabel 2. 7 Faktor elevasi permukaan tanah

Elevasi di Atas Permukaan Laut (m)		Faktor Elevasi Permukaan (K_e)
0	0	1,00
1.000	305	0,96
2.000	610	0,93
3.000	914	0,90
4.000	1.219	0,86

Sumber : (Badan Standarisasi Nasional, 2020)

2.6.3.6 Koefisien Tekanan Internal (GC_{pi})

Berdasarkan Pasal 26.13 SNI 1727:2020, klasifikasi ketertutupan bangunan gedung dapat ditentukan koefisien tekanan internal (GC_{pi}) dari Tabel 2. 8.

Tabel 2. 8 Koefisien tekanan internal (GC_{pi})

Klasifikasi Ketertutupan	Kriteria untuk Klasifikasi Ketertutupan	Tekanan Internal	Koefisien Tekanan Internal (GC_{pi})
Bangunan Tertutup	A_o kurang dari terkecil $0,01 A_g$ atau $0,37 \text{ m}^2$ dan $A_{oi}/A_{gi} \leq 0,2$	Sedang	- 0,18 - 0,18
Bangunan Tertutup Sebagian	$A_o > 1,1 A_{oi}$ dan $A_o >$ terkecil dari $0,01 A_g$ atau $0,37 \text{ m}^2$ dan $A_{oi}/A_{gi} \leq 0,2$	Tinggi	- 0,55 - 0,55

Sumber : (Badan Standarisasi Nasional, 2020)

2.6.3.7 Koefisien Tekanan Eksternal (C_p)

Berdasarkan Pasal 27.3.1 SNI 1727:2020, koefisien tekanan eksternal dinding untuk bangunan gedung tertutup dan tertutup sebagian dari Tabel 2. 9.

Tabel 2. 9 Koefisien tekanan eksternal dinding

Permukaan	L/B	C_p	Digunakan dengan
Angin Datang	Seluruh Nilai	0,8	q_z
Angin Pergi	0 - 1	- 0,5	q_h
	2	- 0,3	q_h
	≥ 4	- 0,2	q_h
Dinding Tepi	Seluruh Nilai	- 0,7	q_h

Sumber : (Badan Standarisasi Nasional, 2020)

2.6.4 Beban Gempa

Berdasarkan Pasal 4.1.1 SNI 1726:2019, beban gempa adalah beban horizontal dan vertikal pada struktur akibat getaran aktivitas tektonik atau vulkanik. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan peluang terlampaui 2% selama umur bangunan 50 tahun.

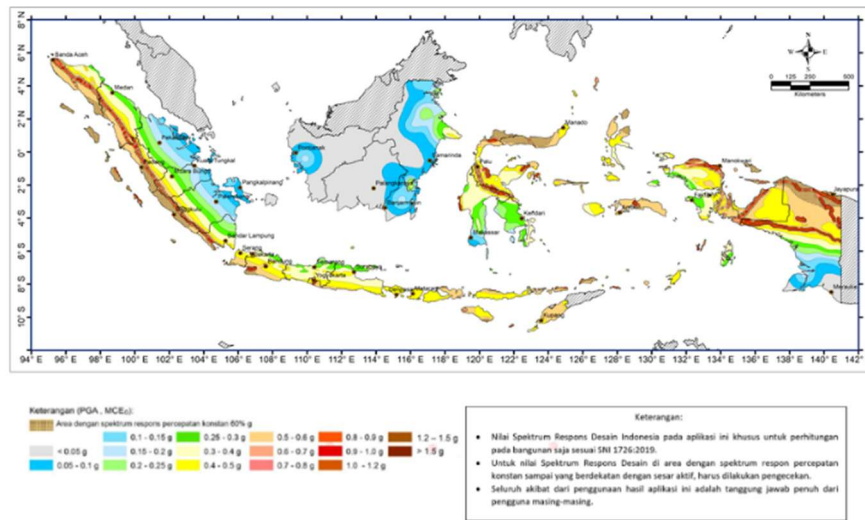
Perencanaan struktur gedung tahan gempa bertujuan untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur dan terdapatnya korban jiwa dengan tiga kriteria standar (*UBC 1997*), yaitu :

1. Tidak ada kerusakan yang disebabkan oleh gempa kecil.
2. Gempa sedang diperbolehkan terjadi kerusakan arsitektural tanpa adanya kerusakan struktural.
3. Kerusakan struktural dan non-struktural diperbolehkan pada gempa kuat, namun tidak mengakibatkan keruntuhan pada bangunan.

2.6.4.2 Peta Zonasi Gempa Indonesia

Berdasarkan SNI 1726:2019, wilayah Indonesia dipetakan berdasarkan tingkat risiko gempa ditentukan oleh percepatan puncak batuan dasar (*Peak Ground Acceleration, PGA*). Parameter gempa meliputi percepatan batuan dasar periode

pendek 0,2 detik (S_s) dan periode 1 detik (S_1) untuk periode ulang 2.500 tahun, sebagaimana ditunjukkan pada Peta Kegempaan Indonesia pada Gambar 2. 4.



Gambar 2. 4 Peta *PGA MCEg*

Sumber : (Badan Standarisasi Nasional, 2019)

2.6.4.3 Kategori Risiko Bangunan

Berdasarkan Pasal 4.1.2 SNI 1726:2019, kategori risiko bangunan disesuaikan dengan jenis pemanfaatan atau kegunaan dari bangunan yang telah direncanakan. Kategori risiko bangunan untuk gedung dan non-gedung dapat dilihat pada Tabel 2. 10.

Tabel 2. 10 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan.	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, II, IV	II
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.	III

Sumber : (Badan Standarisasi Nasional, 2019)

2.6.4.4 Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

Berdasarkan Pasal 4.1.2 SNI 1726:2019, sesuai dengan semua kategori risiko bangunan gedung dan non gedung, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa (I_e), dilihat pada Tabel 2. 11.

Tabel 2. 11 Faktor keutamaan gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (I_e)
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber : (Badan Standarisasi Nasional, 2019)

2.6.4.5 Klasifikasi Situs

Berdasarkan Pasal 5.3 SNI 1726:2019, profil tanah pada suatu situs diklasifikasikan berdasarkan kondisi lapisan tanah 30 m teratas. Klasifikasi ini bertujuan menentukan kriteria desain seismik berupa faktor amplifikasi, sesuai karakteristik tanah ditunjukkan pada Tabel 2. 12.

Tabel 2. 12 Klasifikasi situs

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	7750-1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350-750	>50	>100
SD (tanah sedang)	175-350	15-50	50-100

Sumber : (Badan Standarisasi Nasional, 2019)

2.6.4.6 Faktor Koefisien Situs

Berdasarkan Pasal 6.2 SNI 1726:2019, penentuan respons spektral percepatan gempa $MCER$ di permukaan tanah memerlukan faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 dan 1 detik, yaitu faktor F_a dan F_v . Parameter respons spektral percepatan periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) ditentukan :

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (2.1)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (2.2)$$

Dimana :

S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa *MCER* periode pendek

S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa *MCER* periode 1 detik

Faktor amplifikasi koefisien percepatan periode pendek (F_a) pada Tabel 2. 13.

Tabel 2. 13 Koefisien situs F_a

Kelas Situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko – Tertarget (<i>MCER</i>) Terpetakan pada Periode Pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,7$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0

Sumber : (Badan Standarisasi Nasional, 2019)

Sedangkan faktor amplifikasi koefisien percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v) disajikan pada Tabel 2. 14 berikut.

Tabel 2. 14 Koefisien situs F_v

Kelas Situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko – Tertarget (<i>MCER</i>) Terpetakan pada Periode Pendek, $T = 1$ detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7

Sumber : (Badan Standarisasi Nasional, 2019)

2.6.4.7 Spektrum Respons Desain

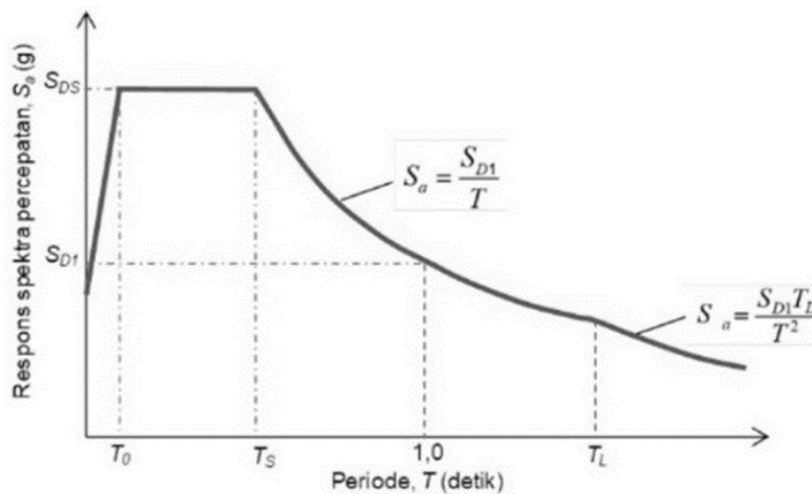
Berdasarkan Pasal 6.4 SNI 1726:2019, *respons spektrum* adalah grafik hubungan antara periode getaran struktur dan respons maksimum untuk rasio redaman dan gempa tertentu. Respons maksimum dapat berupa simpangan (SD), kecepatan (SV), atau percepatan (SA), yang dinyatakan dalam percepatan gravitasi dan bergantung pada periode alami struktur.

Penentuan parameter percepatan spektra desain untuk periode pendek (S_{DS}) serta periode 1 detik (S_{D1}) dituliskan dalam persamaan.

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS} \quad (2.3)$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{M1} \quad (2.4)$$

Apabila *respons spektrum* desain dibutuhkan dan prosedur gerak tanah dari spesifik situs tidak digunakan, maka kurva *spektrum respons* desain harus dirumuskan dengan mengikuti beberapa ketentuan dan mengacu pada Gambar 2. 5.



Gambar 2. 5 Grafik *spektrum respons* desain

Sumber : (Badan Standarisasi Nasional, 2019)

1. Setiap periode yang lebih kecil dari T_0 , *spektrum respon* percepatan desain S_a harus diambil menggunakan persamaan berikut.

$$S_a = S_{DS} \times (0,4 + 0,6 \times (T / T_0)) \quad (2.5)$$

2. Setiap periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , *spektrum respon* percepatan desain (S_a) sama dengan S_{DS} .

3. Untuk periode yang lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil atau sama dengan T_L , *spektrum respon* percepatan desain (S_a) diambil menggunakan persamaan :

$$S_a = S_{D1} / T \quad (2.6)$$

4. Untuk periode yang lebih besar dari T_L , *spektrum respon* percepatan desain (S_a) diambil menggunakan persamaan berikut.

$$S_a = (S_{D1} / T_L) / T^2 \quad (2.7)$$

Dimana :

S_{DS} = Parameter *respons spektrum* desain periode pendek

S_{D1} = Parameter *respons spektrum* desain periode 1 detik

T = Periode getar fundamental struktur

$T_0 = 0,2 \times (S_{D1} / S_{DS})$

$T_s = S_{D1} / S_{DS}$

T_L = Periode panjang

2.6.4.8 Parameter Penahan Gaya Seismik

Berdasarkan Pasal 7.2.2 SNI 1726:2019, elemen pemikul gaya seismik harus memenuhi parameter perencanaan sesuai dengan sistem struktur yang digunakan. Nilai koefisien sistem rangka pemikul momen dilihat pada Tabel 2. 15.

Tabel 2. 15 Faktor R , Ω_0 , dan C_d untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem pemikul gaya seismik		R	Ω_0	C_d	Batas system struktur dan Batas tinggi struktur h_n (m)				
					Kategori desain seismik				
					B	C	D	E	F
C. Sistem rangka pemikul momen									
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

Sistem pemikul gaya seismik		R	Ω_0	C_d	Batas system struktur dan Batas tinggi struktur h_n (m)				
					Kategori desain seismik				
					B	C	D	E	F
3.	Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^k	TI ^K	TI ^K
4.	Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^I	TI ^I	TI ^I
5.	Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6.	Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7.	Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8.	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9.	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10.	Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	10	TI
11.	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12.	Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3½	3	3½	10	10	10	10	10

Sumber : (Badan Standarisasi Nasional, 2019)

2.6.5 Ketidakberaturan Konfigurasi

Berdasarkan Pasal 7.3.2.1 SNI 1726:2019, suatu struktur dapat dikatakan memiliki ketidakberaturan horizontal jika memiliki satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti tercantum pada Tabel 2. 16.

Tabel 2. 16 Tipe ketidakberaturan horizontal struktur

Type	Keterangan
Tipe 1a	Ketidakberaturan Torsi
Tipe 1b	Ketidakberaturan Torsi Berlebihan
Tipe 2	Ketidakberaturan Sudut Dalam
Tipe 3	Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma
Tipe 4	Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang
Tipe 5	Ketidakberaturan Sistem Nonparalel

Sumber : (Badan Standarisasi Nasional, 2019)

Berdasarkan Pasal 7.3.2.2 SNI 1726:2019, suatu struktur dapat dikatakan memiliki ketidakberaturan vertikal jika memiliki satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti tercantum pada Tabel 2. 17.

Tabel 2. 17 Tipe ketidakberaturan vertikal struktur

Type	Keterangan
Tipe 1a	Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak
Tipe 1b	Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan
Tipe 2	Ketidakberaturan berat (massa)
Tipe 3	Ketidakberaturan geometri vertikal
Tipe 4	Ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral
Tipe 5a	Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat
Tipe 5b	Ketidakberaturan tingkat lemah berlebihan akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat

Sumber : (Badan Standarisasi Nasional, 2019)

2.6.6 Analisis Statik Ekuivalen

2.6.6.1 Gaya Geser Dasar Seismik (V)

Berdasarkan Pasal 7.8.1 SNI 1726:2019, gaya geser dasar (*base shear*) merupakan jumlah gaya horizontal yang bekerja pada dasar bangunan akibat pengaruh gempa, berikut persamaan :

$$V = C_s \times W \quad (2.8)$$

Dimana :

$$C_s = \text{Koefisien respon seismik}$$

$$W = \text{Berat seismik efektif}$$

2.6.6.2 Koefisien Respons Seismik (C_s)

Penentuan koefisien respons seismik dapat dicari menggunakan persamaan.

$$C_s = S_{DS} / (R/I_e) \quad (2.9)$$

Keterangan :

$$R = \text{Koefisien modifikasi respon}$$

$$I_e = \text{Faktor keutamaan gempa}$$

Nilai C_s yang dihitung tidak harus melebihi nilai C_s maksimum :

Untuk $T \leq T_L$:

$$C_s = S_{D1} / (T \times (R/I_e)) \quad (2.10)$$

Untuk $T \geq T_L$:

$$C_s = S_{D1} \times T_L / (T \times (R/I_e)) \quad (2.11)$$

Nilai C_s tidak boleh kurang dari $C_{s,min}$:

$$C_s = 0,5 \times S_1 / (T \times (R/I_e)) \quad (2.12)$$

2.6.6.3 Periode Alami Struktur (T)

Disebutkan dalam Pasal 7.8.2.1 SNI 1727:2020, periode alami struktur adalah waktu yang dibutuhkan struktur untuk 1 siklus getaran (detik), yang dipengaruhi oleh ketidakberaturan, jumlah lantai, dan dimensi rangka bangunan. Hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang di hitung (C_u) dan

tidak lebih kecil dari periode pendekatan (T_a). Jika nilai T tidak tersedia, maka diperbolehkan menggunakan periode alami pendekatan (T_a) sesuai :

$$T_a = C_t \times h_n^x \quad (2.13)$$

Dimana :

h_n = ketinggian struktur (m)

C_t dan x = Koefisien

Nilai parameter periode pendekatan struktur ditetapkan berdasarkan ketentuan yang tercantum dalam Tabel 2. 18 berikut.

Tabel 2. 18 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik :		
- Rangka baja pemikul momen	0,724	0,8
- Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber : (Badan Standarisasi Nasional, 2019)

Adapun nilai batas atas periode fundamental dirumuskan dalam persamaan :

$$T = C_u \times T_a \quad (2.14)$$

Dimana :

T = periode fundamental (detik)

C_u = koefisien periode batas atas

T_a = periode fundamental pendekatan (detik)

Dengan nilai koefisien C_u seperti yang tertera dalam Tabel 2. 19, maka penentuan batas atas periode fundamental struktur yang dihitung telah disesuaikan dengan ketentuan yang tercantum dalam SNI 1726:2019.

Tabel 2. 19 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

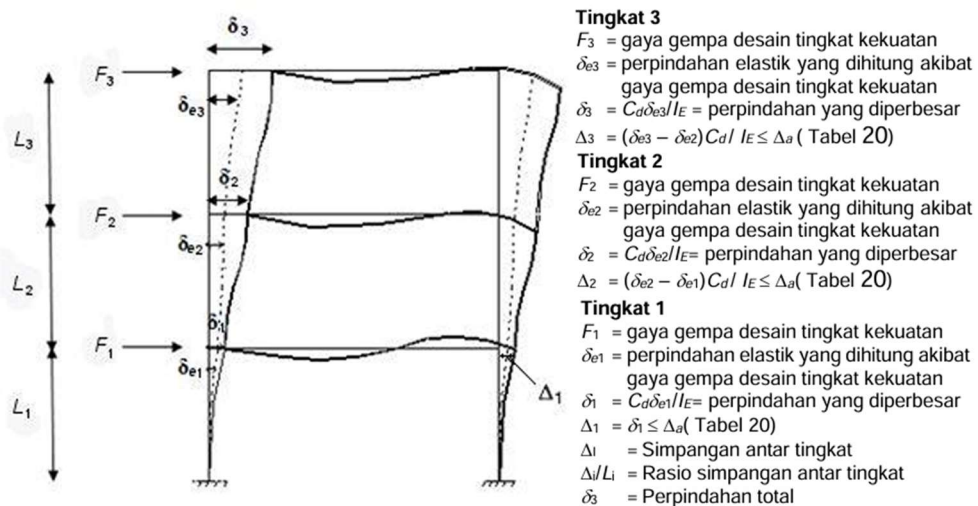
Percepatan Respon Spektral Desain Pada 1 detik S_{D1}	Koefisien, C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber : (Badan Standarisasi Nasional, 2019)

2.6.6.4 Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan Pasal 7.8.6 SNI 1726:2019, simpangan adalah perpindahan lateral relatif antar dua tingkat bangunan yang diukur dari lantai di bawahnya. Simpangan tiap lantai dihitung dari selisih perpindahan pusat massa pada tingkat atas dan bawah.

Parameter yang dibutuhkan untuk menghitung simpangan yaitu faktor keutamaan struktur gedung (I_e) dan faktor amplifikasi defleksi (C_d). Adapun ilustrasi simpangan yang terjadi pada struktur dapat dilihat pada Gambar 2. 6.



Gambar 2. 6 Penentuan simpangan antar lantai

Sumber : (Badan Standarisasi Nasional, 2019)

Simpangan pusat massa pada tingkat ke-x (δ) dalam satuan milimeter (mm) ditentukan sebagai berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta x_e}{I_e} \quad (2.15)$$

Keterangan :

C_d = faktor pembesaran simpangan lateral

δx_e = simpangan di tingkat x yang ditentukan dengan analisis elastik

Simpangan desain harus memenuhi syarat simpangan izin, sebagaimana batasan yang disajikan pada pada Tabel 2. 20.

Tabel 2. 20 Simpangan antar lantai izin

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 lantai.	0,025h _{sx}	0,020h _{sx}	0,015h _{sx}
Struktur dinding geser kantilever atau bata	0,010h _{sx}	0,010h _{sx}	0,010h _{sx}
Semua struktur lainnya	0,020h _{sx}	0,015h _{sx}	0,010h _{sx}

Sumber : (Badan Standarisasi Nasional, 2019)

2.6.6.5 Pengaruh *P-Delta*

Berdasarkan Pasal 7.8.7 SNI 1726:2019, pengaruh *P-Delta* terhadap geser tingkat, momen, gaya elemen struktur, dan simpangan antar tingkat dapat diabaikan apabila koefisien stabilitas (θ) $\leq 0,10$. Nilai koefisien stabilitas ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x H_{sx} C_d} \quad (2.16)$$

Keterangan :

θ = koefisien stabilitas

P_x = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat-x (kN)

Δ = simpangan antar tingkat desain

Koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi koefisien stabilitas maksimum yang ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} \leq 0,25 \quad (2.17)$$

Keterangan :

$\theta_{\max}$ = koefisien stabilitas maksimum

β = rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat x

2.7 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan Pasal 2.3.1 SNI 1727:2020, dalam perencanaan pembebanan, beberapa kombinasi beban harus diperhitungkan untuk memperoleh efek beban terfaktor. Kekuatan struktur harus sama atau lebih besar dari efek tersebut. Metode kombinasi pembebanan terdiri dari metode ultimit dan metode layanan.

2.7.1 Kombinasi Pembebanan Metode Ultimit

Kombinasi beban dasar untuk metode ultimit digunakan beberapa kombinasi :

1. = 1,4 D
2. = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r atau R)
3. = 1,2 D + 1,6 (L_r atau R) + (1,0 L atau 0,5 W)
4. = 1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (L_r atau R)
5. = 0,9 D + 1,0 W

Apabila kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik :

6. = 1,2 D + E_v + E_h + L
7. = 0,9 D + E_v + E_h

Dimana :

$$E_h = \rho \times Q_E$$

$$E_v = 0,2 \times S_{DS} \times D$$

2.8 Penelitian Terdahulu

- a. Penelitian (Meillyta & Vuardi, 2019) melakukan perbandingan antara kolom baja dan kolom komposit baja-beton pada struktur portal gedung lapangan futsal 2 lantai. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan kolom komposit mampu meningkatkan kapasitas dukung kolom secara signifikan hingga mencapai 78% dibanding kolom baja biasa. *Displacement* pada kolom komposit juga lebih kecil sehingga struktur menjadi lebih stabil dan kaku. Selain itu, rasio kapasitas pada kolom komposit lebih aman dibanding kolom baja, menunjukkan efisiensi material dalam menahan beban aksial. Namun, penelitian ini hanya berfokus pada struktur 2 lantai dengan pembebanan statis. Simulasi dilakukan menggunakan *Software ETABS V17* tanpa uji laboratorium sehingga hasil masih berupa permodelan numerik.
- b. Penelitian (Propika dkk., 2020) membandingkan kapasitas aksial dan momen pada dua jenis kolom komposit, yaitu *Inside Steel (concrete encased column)* dan *Outside Steel (concrete filled column)*. Penelitian ini dilakukan dengan perhitungan manual dan menggunakan program *CSiCOL* untuk validasi. Hasil menunjukkan bahwa kolom *Outside Steel* memiliki kapasitas aksial dan momen lebih tinggi dibandingkan *Inside Steel*, baik pada kolom berbentuk kotak maupun bundar. Pada kolom bundar, *Outside Steel* unggul hingga 17% dalam kapasitas aksial, sedangkan pada kolom kotak, *Outside Steel* unggul 10,5% dalam kapasitas momen.
- c. Penelitian (Alfirdaus dkk., 2019) membandingkan penggunaan kolom beton bertulang, kolom baja, dan kolom komposit baja-beton pada struktur gedung 15 lantai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kolom komposit memiliki dimensi penampang lebih kecil, kebutuhan material lebih efisien, dan performa deformasi menyerupai kolom baja. Dari segi kekuatan aksial dan momen, kolom baja memiliki kapasitas paling besar, disusul kolom komposit, lalu kolom beton bertulang. Kolom komposit dinilai optimal secara teknis karena selain ringan dan efisien, juga memiliki keunggulan ketahanan terhadap api dan korosi, meskipun perhitungan dan pelaksanaannya lebih kompleks di lapangan.