

2 TINJAUAN PUSTAKA

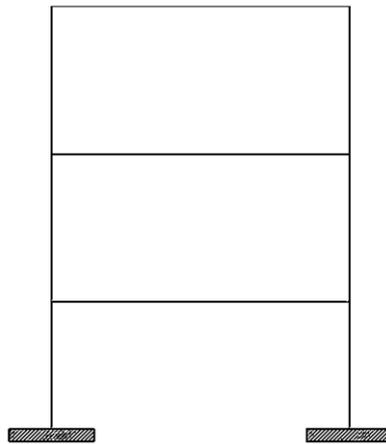
2.1 Struktur Bangunan Tahan Gempa

Berdasarkan SNI 1726 : 2019 , dalam prosedur analisis dan desain seismik yang digunakan untuk perencanaan struktur bangunan tahan gempa harus memiliki sistem penahan gaya lateral dan vertikal yang lengkap dan mampu memperoleh kekuatan, kekakuan, serta kapasitas disipasi energi yang cukup untuk menahan gerak tanah dalam batasan yang dibutuhkan ketika deformasi dan kekuatan yang telah disyaratkan. Struktur yang sudah memadai dapat ditunjukkan melalui pembentukan model matematik dan pengevaluasian pemodelan untuk pengaruh gerak tanah desain. Pada komponen struktur yang dipersiapkan harus menahan gaya geser, gaya aksial, dan momen dengan kekuatan yang cukup serta sesuai standar yang telah ditetapkan. Deformasi struktur tidak boleh melebihi batasan pada tetapan yang ada ketika struktu tersebut menerima gaya seismik.

Bangunan tahan gempa memiliki fokus utama pada material yang sifat daktilitasnya tinggi. Karena jika suatu struktur memiliki beban yang melebihi batas kekuatannya, maka pada struktur tersebut akan mengalami regangan terlebih dahulu serta membutuhkan waktu sebelum akhirnya mengalami keruntuhan. Bangunan yang dapat meredam getaran ketika terjadi gempa dapat meminimalisir risiko keruntuhan bangunan. Gaya lateral yang dipikul pada suatu bangunan harus memiliki struktur dengan daktilitas yang mencukupi pada daerah *joint* atau pada bagian strukur penahan gempa seperti *bracing*, *link*, atau *shear wall*.

2.1.1 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

Sistem rangka pemikul momen yaitu suatu sistem rangka ruang dalam yang komponen struktur dan tiap jointnya menopang gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial (Mahendrayu and Kartini 2012). Sistem rangka pemikul momen memiliki kemampuan yang baik ketika menyerap suatu energi. Namun akan memerlukan simpangan antar lantai yang besar untuk menimbulkan sendi – sendi plastis pada komponen balok agar menyerap energi gempa pada suatu bangunan.



Gambar 2.1 Sistem Rangka Pemikul Momen

(Sumber : *American Institute of Steel Construction*, 2010)

Sistem rangka pemikul momen dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem rangka pemikul momen khusus dapat mengalami deformasi inelastis yang besar jika terkena beban oleh gaya yang berasal dari beban gempa rencana. Sistem rangka pemikul momen khusus memiliki kekakuan yang lebih kecil daripada sistem struktur lainnya, tetapi daktilitas yang dimilikinya lebih besar.

2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Sistem rangka pemikul momen menengah merupakan sistem yang dimana komponen – komponen strukturnya mampu menahan gaya – gaya yang bekerja seperti momen lentur, gaya geser, dan gaya aksial. SRPMM dengan tingkat daktilitas yang sedang sering digunakan pada daerah rawan gempa kategori desain seismik C.

3. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

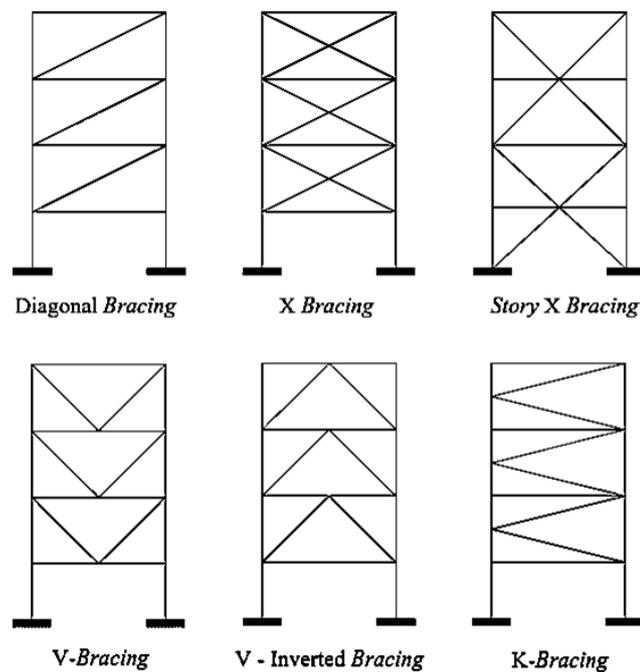
Sistem rangka pemikul momen biasa dapat mengalami deformasi inelastik secara terbatas pada komponen struktur dan sambungan – sambungannya yang disebabkan gaya gempa rencana. Kekakuan yang dimiliki sistem rangka pemikul momen biasa lebih besar daripada sistem rangka pemikul momen khusus, dan memiliki daktilitas yang paling rendah.

2.1.2 Sistem Rangka *Bracing* (SRB)

Elemen *bracing* merupakan struktur tambahan yang digunakan pada struktur portal agar lebih kaku, juga memiliki fungsi untuk menahan gaya lateral berupa gempa. *Bracing* akan memiliki dua perilaku ketika terjadinya gempa yaitu perilaku tekuk yang disebabkan tekan dan leleh atau fraktur yang disebabkan tarik. Sistem rangka *bracing* dikelompokkan menjadi sistem rangka *bracing* konsentrik dan sistem rangka *bracing* eksentrik.

2.1.2.1 Sistem Rangka *Bracing* Konsentrik (SRBK)

Sistem rangka *bracing* konsentrik adalah suatu struktur yang bagian elemen diagonal *bracing*nya bertemu pada satu titik. Rangka *bracing* konsentrik merupakan peningkatan dari sistem portal tak berpengaku, karena memiliki tingkat kekakuan yang baik. Kekakuan yang dihasilkan karena elemen diagonal yang menahan gaya lateral pada rangka meningkatkan aksi gaya dalam aksial dan lentur yang kecil. Pada saat melakukan analisa dan desain rangka *bracing*, umumnya mengabaikan momen pada sistem tersebut.



Gambar 2.2 Sistem Rangka *Bracing* Konsentrik

(Sumber : American Institute of Steel Construction, 2010)

Sistem rangka *bracing* konsentrik dibagi menjadi 2 jenis sistem yaitu sistem rangka *bracing* konsentrik khusus (SRBKK) dan sistem rangka *bracing* konsentrik biasa (SRBKB).

1. Sistem Rangka *Bracing* Konsentrik Khusus (SRBKK)

Sistem rangka *bracing* konsentrik khusus dapat mengalami deformasi inelastis yang cukup besar akibat adanya gempa rencana. Sistem ini memiliki tingkat daktilitas yang lebih tinggi dibanding dengan sistem rangka *bracing* konsentrik khusus biasa (SRBKB), mengingat penurunan kekuatannya yang lebih kecil pada saat terjadinya tekuk pada batang *bracing* tekan.

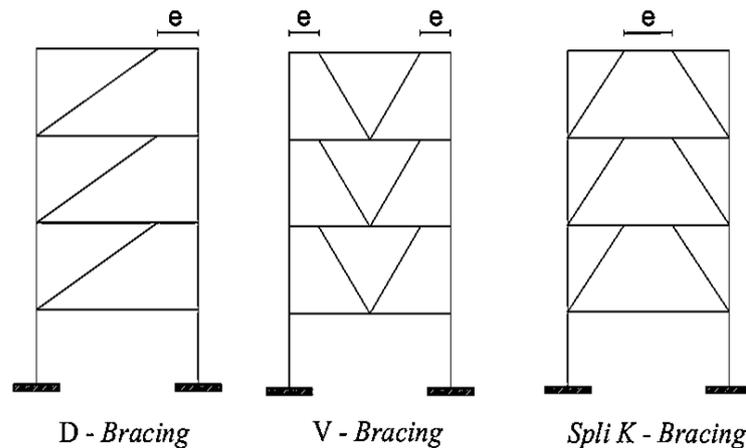
Tetapi jika dibandingkan dengan sistem struktur pemikul momen (SRPM), daktilitas yang dimiliki SRBKK akan lebih rendah. Hal itu disebabkan karena sifat kekakuan yang lebih besar tersebut mengakibatkan terjadinya deformasi yang terbatas.

2. Sistem Rangka *Bracing* Konsentrik Biasa (SRBKB)

Sistem rangka *bracing* konsentrik khusus dapat mengalami deformasi inelastis secara terbatas apabila dibebani oleh gaya-gaya yang berasal dari beban gempa rencana.

2.1.2.2 Sistem Rangka *Bracing* Eksentrik (SRBE)

Sistem rangka *bracing* eksentrik adalah suatu struktur yang bagian elemen diagonal *bracing*nya tidak bertemu pada satu titik karena terdapat penghubung yang merupakan bagian dari balok yang disebut link dan direncanakan secara khusus. SRBE dapat mengalami deformasi inelastis yang cukup besar pada Link saat memikul gaya-gaya yang diakibatkan beban gempa rencana. Elemen struktur harus direncanakan untuk tetap dalam keadaan elastis akibat gaya yang dihasilkan oleh Link ketika mengalami pelelahan penuh hingga tahap perkerasan regangan.



Gambar 2.3 Sistem Rangka *Bracing* Eksentrik

(Sumber : American Institute of Steel Construction, 2010)

2.2 Pembebanan

Dalam perencanaan struktur hal utama yang harus dilakukan yaitu melakukan perkiraan beban yang akan didukung oleh suatu struktur. Beban merupakan gaya luar yang bekerja pada suatu struktur. Beban dapat dikategorikan menjadi beban gravitasi yaitu beban mati dan beban hidup. Adapun beban lateral yaitu meliputi beban akibat gaya gempa dan angin.

2.2.1 Beban Mati

Beban mati merupakan berat seluruh bagian suatu struktur yang bersifat tetap selama masa layan struktur. Yang termasuk ke dalam beban mati yaitu bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat deret dan sistem pengangkut material (SNI 1727 : 2020). Pada penentuan beban mati untuk perancangan, perlu digunakan berat bahan dan konstruksi yang sebenarnya. Namun jika tidak ada informasi yang jelas mengenai ketentuan tersebut, nilai berat yang harus digunakan adalah nilai yang disetujui oleh pihak yang berwenang.

2.2.2 Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang bekerja pada suatu struktur dalam masa layannya, terjadi karena adanya penggunaan suatu gedung. Beban hidup berasal dari berat manusia, barang yang dapat dipindahkan, juga peralatan lainnya. Karena

beban yang besar dan lokasi yang berubah – ubah, untuk menentukan nilai beban hidup yang pasti akan sulit dilakukan. Beban hidup yang digunakan dalam perancangan suatu struktur harus beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan gedung, akan tetapi tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang telah ditetapkan (SNI 1727 : 2020).

2.2.3 Beban Angin

Beban angin didapatkan dengan menganggap adanya tekanan dan isapan yang bekerja tegak lurus terhadap bidang-bidang yang akan ditinjau. Berdasarkan SNI 1727 : 2020 kecepatan angin dasar yang digunakan dalam analisis dapat ditentukan dari Buku Peta Angin Indonesia. Kecepatan angin dasar dapat diperbesar jika dalam catatan menyatakan bahwa kecepatan angin yang terdapat pada Buku Peta Angin Indonesia lebih kecil. Angin dapat diasumsikan datang dari segala arah horizontal. Pada gedung tertutup koefisien angin yang dipakai untuk menentukan pengaruh angin pada struktur sebagai berikut:

1. Dinding Vertikal

Di pihak angin	+0,9
Di belakang angin	-0,4
Sejajar dengan arah angin	-0,4

2. Atap segitiga dengan sudut kemiringan α

Di pihak angin:

$\alpha < 65^\circ$	$0,02 \alpha - 0,4$
$65^\circ < \alpha < 90^\circ$	+0,9
Di belakang angin, untuk semua α	-0,4

2.2.4 Beban Gempa

Beban gempa merupakan beban statik ekuivalen yang bekerja pada struktur karena adanya pergerakan tanah oleh gempa bumi, baik pergerakan arah vertikal ataupun horizontal. Umumnya percepatan tanah arah horizontal lebih besar dibanding arah vertikal, untuk pengaruh gempa horizontal jauh lebih menentukan daripada gempa vertikal (Setiawan, 2008).

Analisis struktur terhadap beban gempa umumnya terbagi menjadi 2 jenis, yaitu :

a. Analisis beban statik ekuivalen

Analisis beban statik ekuivalen merupakan cara analisis yang pengaruh gempa pada strukturnya dianggap sebagai beban statik horizontal yang didapatkan dengan memperhitungkan respon ragam getar yang pertama. Tujuan dari analisis statik yaitu untuk prosedur perhitungan yang sering digunakan pada perencanaan struktur bangunan gedung. Dengan menggunakan metode ini gaya horizontal akibat gempa dapat diasumsikan besarnya berdasarkan perkalian suatu koefisien dengan berat dari elemen – elemen struktur tersebut. Metode analisis statik pada umumnya digunakan untuk menghitung pengaruh beban gempa pada struktur bangunan yang memiliki struktur beraturan.

Berdasarkan SNI 1726 : 2019 prosedur gaya lateral ekuivalen adalah sebagai berikut :

1. Gaya Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik (V) pada arah yang ditetapkan perlu ditentukan sesuai dengan persamaan :

$$V = C_s \cdot W \quad (2.1)$$

Keterangan :

C_s = Koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan pasal 7.8.1.1 SNI 1726-2019

W = Berat seismik efektif menurut pasal 7.7.2 SNI 1726-2019

Untuk perhitungan koefisien seismik (C_s), perlu ditentukan dengan persamaan :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.2)$$

Keterangan :

S_{DS} = Parameter percepatan respon spektral desain dalam rentang periode pendek seperti ditentukan dalam SNI 1726 : 2019 pasal 6.3

R = Koefisien modifikasi respons dalam SNI 1726 : 2019 Tabel 12

I_e = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan SNI 1726 : 2019 pasal 4.1.2

Nilai C_s tidak harus melebihi :

- Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2.3)$$

- Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2.4)$$

C_s harus tidak kurang dari :

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah dengan $S_1 \geq 0,6g$, maka C_s harus tidak kurang dari :

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2.5)$$

Keterangan :

Dimana I_e dan R sebagaimana didefinisikan pada SNI 1726 : 2019 pasal 7.8.1.1

S_D = Parameter percepatan respon spektral desain pada periode sebesar 1,0 detik, seperti yang ditentukan dalam SNI 1726 : 2019 pasal 6.10.4

T = Periode fundamental struktur (detik) yang ditentukan dalam SNI 1726 : 2019 pasal 7.8.2

S_1 = Parameter percepatan respons spektral maksimum yang dipetakan yang ditentukan sesuai dengan SNI 1726 : 2019 pasal 6.10.4

Nilai maksimum S_{DS} dalam penentuan C_s yaitu nilai C_s diizinkan untuk dihitung dengan nilai $S_{DS} = 1,0$, tetapi tidak kurang dari 70% nilai S_{DS} sesuai yang didefinisikan dalam SNI 1726 : 2019 pasal 6.3.

2. Periode fundamental

Periode fundamental struktur (T) dalam arah yang ditinjau perlu diperoleh dengan sifat dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang teruji. (SNI 1726 : 2019) Periode fundamental struktur tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dari Tabel

17 SNI 1726 : 2019 dan periode fundamental pendekatan yang ditentukan sesuai pasal 7.8.2.1 SNI 1726 : 2019. Sebagai alternatif alam melakukan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur, diizinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan yang di hitung sesuai pasal 7.8.2.1 SNI 1726 : 2019.

Tabel 2.1 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung

Parameter percepatan respons 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 : SNI 1726 : 2019)

Dalam menentukan periode fundamental pendekatan harus ditentukan dengan persamaan berikut :

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.6)$$

Keterangan :

h_n = Ketinggian struktur (m), diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur,
dan k

Tabel 2.2 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t Dan X

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan <i>bracing</i> eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan <i>bracing</i> terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75

Tipe Struktur	C_t	x
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

(Sumber : SNI 1726 : 2019)

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

$$T_a = 0,1N \quad (2.7)$$

Keterangan :

N = Jumlah tingkat

Untuk struktur dinding geser batu bata atau beton, perhitungan fundamental pendekatan dapat menggunakan persamaan :

$$T_a = \frac{0,00058}{\sqrt{C_w}} h_n \quad (2.8)$$

C_w dihitung dengan persamaan:

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^x \frac{A_i}{\left[1 + 0,83 \left(\frac{h_n}{D_i}\right)^2\right]} \quad (2.9)$$

Keterangan :

A_B = Luas dasar struktur (m^2)

A_i = Luas badan dinding geser ke- i (m^2)

D_i = Panjang dinding geser ke- i (m)

x = Jumlah dinding geser dalam bangunan yang efektif memikul gaya lateral dalam arah yang ditinjau

3. Distribusi vertikal gaya seismik

Gaya seismik lateral (F_x) dapat ditentukan dengan persamaan :

$$F_x = C_{vx} V \quad (2.10)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2.11)$$

Keterangan :

- C_{vx} = Faktor distribusi vertikal
 V = Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)
 w_i dan w_x = Bagian berat seismik efektif total struktur (W) 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 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

4. Distribusi horizontal gaya seismik

Geser tingkat desain seismik (V_x) dapat ditentukan dengan persamaan:

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i \quad (2.12)$$

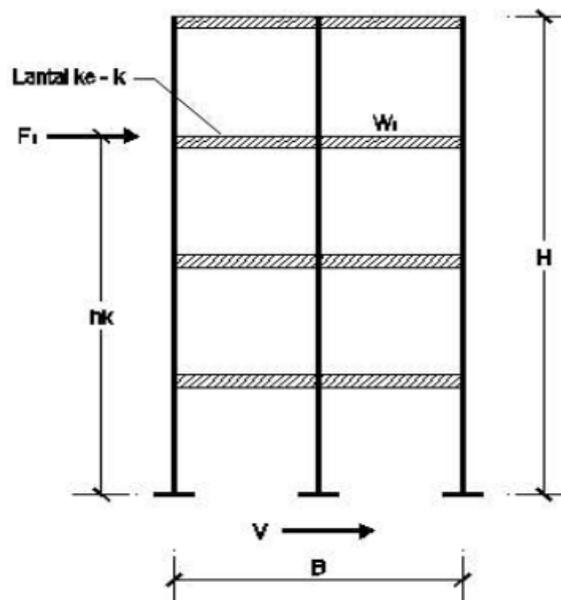
Keterangan :

F_i = Bagian dari geser dasar seismik (V) pada tingkat ke- i (kN)

Geser tingkat desain seismik (V_x) harus didistribusikan pada elemen vertikal sistem pemikul gaya seismik di tingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relatif elemen pemikul vertikal dan diafragma.

Pembagian beban seismik statik ekuivalen horizontal, ada ketentuan yang harus dipenuhi yaitu:

1. Ketika perbandingan antara tinggi struktur dan lebar denah ≥ 3 , maka $0,10V$ harus dianggap menjadi beban horizontal terpusat yang bekerja pada pusat massa lantai puncak bangunan, dan $0,90V$ sisanya harus dibagikan menjadi beban – beban horizontal terpusat.
2. Untuk cerobong yang berdiri diatas tanah, $0,20V$ perlu dianggap sebagai beban horizontal terpusat yang bekerja pada puncaknya, sedangkan $0,80V$ sisanya perlu dibagikan menjadi beban-beban horizontal terpusat.
3. Untuk tangka di atas menara, beban horizontal terpusat terbesar V perlu dianggap bekerja pada titik berat seluruh menara dan rangka berikut isinya.



Gambar 2.4 Distribusi Beban Gempa Pada Masing-Masing Tingkat Bangunan

(sumber : Salim, 2013, p. 92)

b. Analisis dinamik

Analisis dinamik adalah analisis struktur yang pembagian gaya geser gempa di seluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur.

Analisis ragam respon merupakan salah satu cara analisis dinamik struktur dimana total respon didapat melalui superposisi dari respon masing-masing ragam getar. Dalam analisis ragam respon spektrum, harus dipakai diagram koefisien gempa dasar (C) untuk wilayah masing-masing gempa. Nilai C tersebut tidak berdimensi sehingga respon masing-masing ragam merupakan respon relatif. Dalam menentukan pembebanan gempa dapat dilakukan perhitungan dengan langkah-langkah yang sesuai dengan SNI 1726 : 2019, yaitu:

1. Penentuan kategori risiko

Kategori risiko suatu bangunan dapat dikategorikan dengan jenis penggunaan suatu bangunan pada beban yang berpengaruh pada suatu struktur. Kategori risiko bangunan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.3 Kategori Risiko Bangunan

Pemanfaat Jenis Bangunan	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 industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak 	III

Pemanfaat Jenis Bangunan	Kategori Risiko
<ul style="list-style-type: none"> - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi, kendaraan darurat 	IV

Pemanfaat Jenis Bangunan	Kategori Risiko
<ul style="list-style-type: none"> - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	

(sumber : SNI 1726 : 2019)

Tabel 2.4 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. Penentuan klasifikasi situs

Penentuan kelas situs dapat dilakukan dengan penyelidikan di lapangan juga di laboratorium yang dilakukan oleh ahli desain geoteknik bersertifikat. Klasifikasi yang digunakan untuk memberikan kriteria pada desain seismik berupa faktor amplifikasi pada bangunan. Klasifikasi situs dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.5 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)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: Indeks plastisitas, $PI > 20$ Kadar air, $w \geq 40\%$ Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti pasal 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

(sumber : SNI 1726 : 2019)

3. Koefisien situs dan parameter respons spektral percepatan gempa

Respons spektral terdiri dari dua parameter yaitu parameter spektral respons percepatan pada periode pendek (S_{MS} dan parameter spektral respons percepatan pada periode 1 detik (S_1).

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2.13)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (2.14)$$

Keterangan :

S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek

S_i = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik

Dengan nilai koefisien situs terdapat pada pasal 6.2 SNI 1726 : 2019.

4. Parameter percepatan spektral desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan periode 1 detik S_{D1} , dengan menggunakan persamaan:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.15)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.16)$$

5. *Spectrum Response Design*

Menurut pasal 6.4 SNI 1726 : 2019, jika spektrum respons desain diperlukan dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, untuk kurva spektrum respons desain harus mengacu pada ketentuan berikut :

- a. Untuk $T < T_0$, spektrum percepatan desain (S_a) perlu didapat dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.17)$$

- b. Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$, spektrum percepatan desainnya sama dengan S_{DS}

$$S_a = S_{DS} \quad (2.18)$$

- c. Untuk $T_s \leq T \leq T_L$, spektrum percepatan desainnya didapat dengan dari persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.19)$$

- d. Untuk $T > T_L$, spektrum percepatan desain didapat dari persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (2.20)$$

Keterangan :

S_{DS} = Parameter respons spektral percepatan desain periode pendek

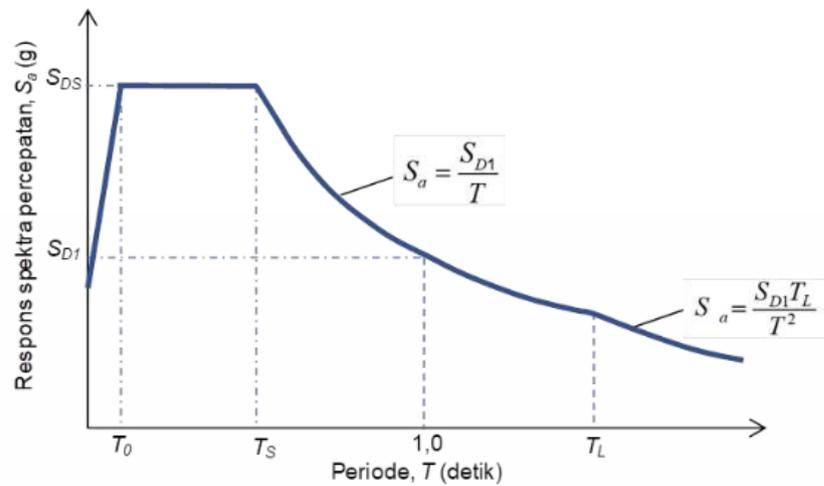
S_{D1} = Parameter respons spektral percepatan desain periode 1,0 detik

T = Periode

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.21)$$

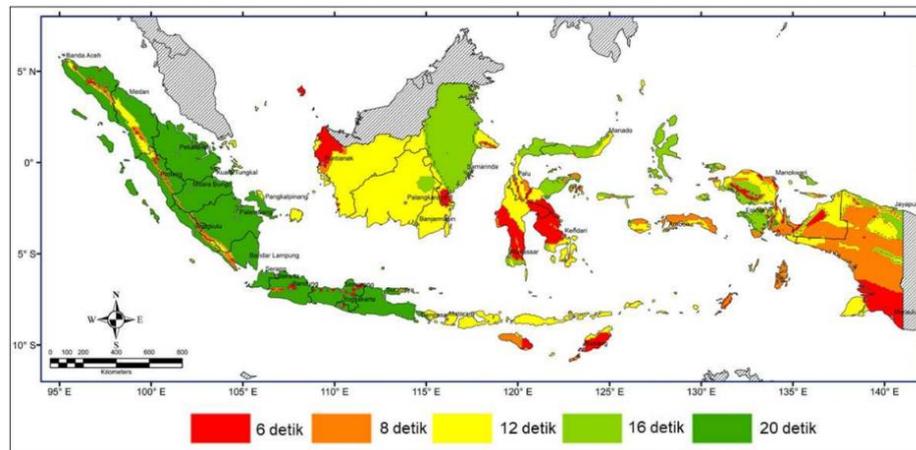
$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.22)$$

T_L = peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada gambar dan nilainya diambil dari gambar



Gambar 2.5 *Spectrum Response Design*

(sumber : SNI 1726 : 2019)



Gambar 2.6 Peta Transisi Periode Panjang (T_L) Wilayah Indonesia

(sumber : SNI 1726 : 2019)

6. Kategori Desain Seismik

Seluruh struktur harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya yang mengikuti ketentuan – ketentuan sesuai pada SNI 1726 : 2019. Struktur dengan kategori risiko I, II, III yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko VI yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F.

Tabel 2.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

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

(sumber : SNI 1726 : 2019)

Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(sumber : SNI 1726 : 2019)

2.3 Beban Kombinasi

Untuk perencanaan struktur bangunan seluruh beban yang akan diterima struktur perlu diperhitungkan agar bangunan tersebut tidak runtuh pada saat

menerima beban kombinasi yang terjadi. Kombinasi beban yang digunakan menurut SNI 1727-2020 yaitu :

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
3. $1,2 D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$
4. $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
5. $0,9 D + 1,0 W$
6. $1,2 D + 1,0 E + L$
7. $0,9 D + 1,0 E$

Keterangan:

D = Beban mati merupakan berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material.

L = Beban hidup merupakan beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati

L_r = Beban hidup atap merupakan beban pada atap yang diakibatkan karena adanya pemeliharaan oleh pekerja, peralatan, dan material, dan selama masa layan struktur akibat benda bergerak

R = Beban hujan merupakan beban yang diakibatkan oleh hujan tetapi tidak adanya genangan air

W = Beban angin merupakan beban yang diterima bangunan karena adanya angin

E = Beban gempa merupakan beban yang diterima bangunan dan diatur dalam SNI 1726 : 2019

2.3.1 Kombinasi Pembebanan dengan Pengaruh Beban Seismik

Berdasarkan SNI 1726 : 2019, struktur yang menerima beban seismik harus menghitung kombinasi beban dasar dengan kombinasi beban seismik. Pengaruh

beban seismik merupakan gaya – gaya elemen aksial, geser dan lentur yang didapatkan dari penerapan gaya seismik horizontal dan gaya seismik vertikal. Pengaruh beban seismik harus dimodifikasi untuk memperhitungkan kuat lebih sistem.

Pengaruh beban seismik (E) memiliki persyaratan sebagai berikut :

1. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 6 pada pasal 4.2.2.1 SNI 1726-2019, perlu ditentukan dengan dengan persamaan :

$$E = E_h + E_v \quad (2.23)$$

2. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7 pada pasal 4.2.2.1 SNI 1726-2019, harus ditentukan dengan persamaan :

$$E = E_h - E_v \quad (2.24)$$

Keterangan:

E = Pengaruh beban seismik

E_h = Pengaruh beban seismik horizontal

E_v = Pengaruh beban seismik vertikal

Untuk pengaruh beban seismik horizontal perlu ditentukan sebagai berikut:

$$E_h = \rho Q_E \quad (2.25)$$

Keterangan:

Q_E = Pengaruh gaya seismik horizontal dari V atau F_p , pengaruh tersebut harus dihasilkan dari penerapan gaya horizontal secara serentak dalam dua arah tegak lurus satu sama lain.

ρ = Faktor redudansi

Untuk pengaruh beban seismik vertikal, perlu ditentukan menggunakan persamaan:

$$E_v = 0,2 S_{DS} D \quad (2.26)$$

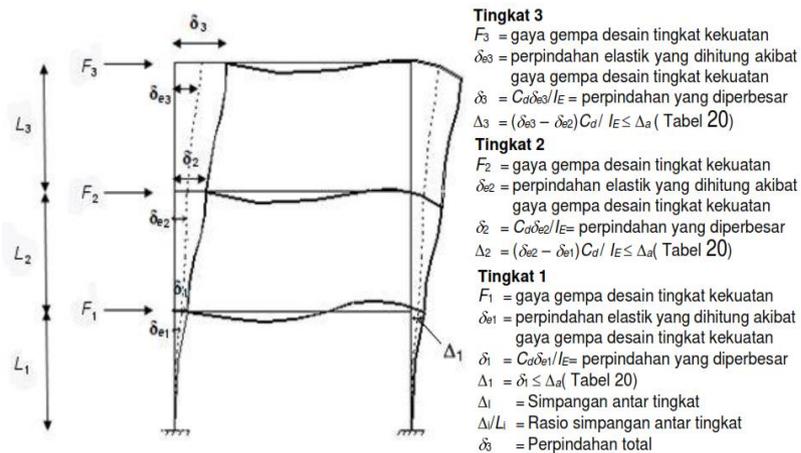
Keterangan:

S_{DS} = Parameter percepatan repons spektral desain pada periode pendek yang diperoleh dari pasal

D = Pengaruh beban mati

2.4 Simpangan Antar Tingkat

Untuk menentukan simpangan antar tingkat desain harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan dibawah tingkat yang ditinjau. Jika pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya.



Gambar 2.7 Penentuan Simpangan Antar Tingkat

(sumber : SNI 1726 : 2019)

Simpangan pusat massa ditingkat-x (δ_x) harus ditentukan dengan persamaan:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.27)$$

Keterangan:

C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral

δ_{xe} = Simpangan di tingkat-x yang disyaratkan, yang ditentukan dengan analisis elastik

I_e = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan

2.5 Struktur Baja

Baja merupakan material konstruksi yang berupa logam campuran (*alloy*) yang pada umumnya terdiri dari besi (Fe) dan karbon (C) untuk mendapatkan kuat tarik yang tinggi. Sifat lentur yang dimiliki material baja dapat diubah menjadi berbagai bentuk serta diaplikasikan dalam konstruksi. Pada perencanaannya

diperlukan spesifikasi hasil pabrikasi industri dan ketersediaan di pasaran. Bentuk profil baja diatur pada peraturan dengan toleransi izin yang telah ditentukan. Profil baja yang dibentuk dengan cara penggilingan disebut profil canai panas, sebagai contoh yaitu baja berbentuk WF, channel, siku, I, dan bentuk lainnya. Pada kuat rancang baja struktural diperhitungkan berdasarkan tegangan leleh dan tegangan getas. Variabel aksi merupakan salah satu aspek ketidakpastian yang berhubungan dengan perilaku struktur, diantaranya modulus elastis (E), modulus geser (G), angka poisson (ν), dan koefisien muai (α).

Struktur baja merupakan kombinasi struktur yang tersusun dari baja struktural yang dirancang untuk memenuhi suatu kebutuhan. Perencanaan struktur baja diatur dalam peraturan yang sudah ditetapkan dengan memenuhi standar mutu tertentu. Peraturan yang berlaku di Indonesia yaitu SNI 1729-2020 yang mengadopsi peraturan dari *American Institute of Steel* (AISC) dan *American Society of Civil Engineers* (ASCE) untuk perencanaan struktur baja dan beban rencana yang didesain kuat dan kaku. Perencanaan struktur bertujuan untuk mendapatkan suatu struktur yang dapat layan, stabil, kuat, dan awet. Struktur yang awet dapat dikatakan struktur yang tidak memerlukan biaya perawatan yang berlebih selama umur masa layan.

Dalam suatu perencanaan, pemilihan jenis material merupakan salah satu tahapan yang penting. Berdasarkan pada keunggulannya dibandingkan dengan material lainnya., baja dipilih sebagai material struktur bangunan. Beberapa keunggulan baja sebagai material konstruksi diantaranya :

1. Memiliki kekuatan yang tinggi dan dengan secara langsung dapat mengurangi ukuran struktur juga berat struktur.
2. Memiliki keseragaman dan keawetan yang tinggi jika dilakukan perawatan dengan prosedur yang sesuai.
3. Memiliki elastisitas yang tinggi, karena baja berperilaku elastis hingga tegangan yang cukup tinggi dan hal tersebut sesuai dengan Hukum Hooke. Momen inersia suatu baja juga akan dapat dihitung dengan akurat.

4. Memiliki daktilitas yang cukup tinggi karena material baja akan mengalami deformasi yang besar ketika baja menerima tegangan tarik yang kuat sebelum terjadinya keruntuhan.
5. Memiliki sifat kekerasan/ *toughness* karena energi akan diserap dalam jumlah yang besar. Material baja yang pada dasarnya memiliki kekuatan dan daktilitas tinggi akan diperlukan, mengingat karakteristik ini penting karena baja mengalami deformasi yang besar dan agar tetap bisa menahan gaya yang besar.
6. Kemudahan dalam penyambungan antar elemen struktur yang ada sehingga melaksanakan konstruksi menjadi lebih cepat.

Pada konsep analisis struktur baja terdapat dua konsep desain, yaitu *Load and Resistance Factor Design* (LRFD) dan *Allowable Stress Design* (ASD). Pada penelitian ini akan dipakai konsep design LRFD.

2.5.1 Metode Desain *Load and Resistance Factor Design* (LRFD)

Konsep metode *Load and Resistance Factor Design* (LRFD) adalah kekuatan nominal dikalikan dengan faktor ketahanan, dan kekuatan desain yang telah dihasilkan harus sama atau melebihi kekuatan yang dibutuhkan. Pada perencanaan ini tegangan *ultimate* baja (F_u) diperhitungkan dalam analisis. Struktur yang direncanakan tidak hanya mampu menahan beban rencana saja, tetapi juga beban layan seperti yang sudah disyaratkan. Metode LRFD memfokuskan pada persyaratan yang khusus dalam kondisi batas kekuatan dan memberikan kesempatan kepada yang sudah merancang untuk menentukan batas layannya.

Struktur direncanakan memiliki kekuatan *ultimate* yang cukup untuk mendukung beban terfaktor. Kekuatan ini dianggap sama dengan kekuatan nominal (R) yang dikalikan dengan koefisien resistansi atau faktor *overcapacity* (ϕ) umumnya lebih kecil dari 1.

Perencanaan struktur baja harus memenuhi persyaratan berikut:

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.28)$$

$$\sum \gamma_i \cdot Q_i \leq \phi R_n \quad (2.29)$$

Keterangan:

R_u = Kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban LRFD (N)

R_n = Kekuatan nominal (N)

ϕ = Faktor tahanan

γ_i = Faktor beban

Q_i = Beban mati, beban hidup, angin, dan gempa

2.5.2 Sambungan

Suatu konstruksi baja, untuk elemen – elemen baja digabungkan menggunakan alat penghubung/ penyambung. Pada tiap titik pertemuan antara batang – batang suatu struktur baja, digunakan pelat sebagai penyambung. Secara garis besar, suatu sambungan terdapat 3 bagian yaitu elemen yang akan disambung, jenis penyambung, dan pelat penyambung.

2.5.2.1 Sambungan Baut

Sambungan baut merupakan jenis sambungan yang memiliki bentuk ulir untuk alur mur dan terdapat kepala baut pada sisi lainnya. sambungan baut dapat dikencangkan dengan cara manual ataupun menggunakan mesin. Dalam desain struktur baja terdapat 3 jenis sambungan baut menurut bidang kerjanya, yaitu sambungan sejajar, sambungan tegak lurus, dan sambungan kombinasi sejajar-tegak lurus. Berdasarkan ASTM baut dikelompokkan dalam A307, terbuat dari baja karbon yang sifat tegangan dan regangannya hampir sama dengan baja A36. Terdapat variasi diameter pada baut yang digunakan antara 5/8 s.d. 1¹/₂ inch dengan interval 1/8 inch.

2.5.2.2 Sambungan Las

Sambungan las merupakan jenis sambungan yang prosesnya dilakukan dengan pengelasan, dimana bahan logam yang dileburkan dipanaskan pada suhu yang tepat agar dapat menyatukan antar elemen yang akan disambungkan. Pada sambungan las, terdapat 5 jenis sambungan diantaranya sambungan sebidang, sambungan sudut, sambungan lewatan, sambungan tegak, dan sambungan sisi. Pada pelaksanaannya ada beberapa jenis las yang sering digunakan yaitu las tumpul, las sudut, las baji, dan las pasak. Pemakaian la dalam bidang konstruksi terbilang masih baru, karena menurut pemikiran beberapa ahli bahwa las mempunyai kerugian bahwa las dapat mengurangi tahanan leleh bahan dibandingkan dengan

penggunaan jenis sambungan lain. Di samping itu, salah satu keunggulan yang dimiliki sambungan las yaitu struktur yang disambung dengan las akan lebih kaku daripada baut/ paku keling.

2.6 Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian ini yaitu :

1. Studi perbandingan perilaku sistem rangka *bracing* tipe X-1 dan tipe X-2 pada gedung perkuliahan 10 lantai (Fitriyani dan Trimurtiningrum 2022). Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui nilai simpangan, simpangan antar lantai, nilai periode, dan perbandingan control efek P-Delta dengan menganalisis perbandingan 2 tipe *bracing* konsentrik (Tipe X-1 dan Tipe X-2). Penelitian tersebut menghasilkan simpulan bahwa pemodelan struktur dengan *bracing* tipe X-1 lebih efisien dan aman untuk struktur bangunan dibandingkan dengan struktur yang tidak menggunakan *bracing* ataupun yang menggunakan *bracing* tipe X-2.
2. Perbandingan kinerja struktur baja sistem tunggal rangka terbreis konsentris khusus dan rangka terbreis penahan tekuk tipe *multi-story X* dan *zipper inverted V* dengan 3 bentang *bracing* pada bangunan 12 dan 18 lantai, (Richard et al. 2021). Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk membandingkan kinerja struktur baja rangka terbreis konsentris khusus (RTKK) dengan struktur baja rangka terbreis penahan tekuk (RTPT). Membandingkan pula perilaku dari dua bentuk *bracing* yang dapat mengatasi permasalahan *bracing V* dan *V* terbalik, dengan menggunakan *bracing multi-story X* dan *zipper inverted V*. Dengan didapat kesimpulan bahwa bangunan dengan sistem struktur baja rangka terbreis penahan tekuk lebih unggul dari sistem struktur baja rangka terbreis konsentris khusus, dengan dilihat dari segi berat struktur dan performa berdasarkan nilai *displacement* dan *drift ratio*.
3. Studi pengaruh variasi tipe pengaku diagonal pada struktur bangunan baja bertingkat terhadap perpindahan lateral, (Halim et al. 2020). Penelitian ini bertujuan membandingkan struktur tanpa pengaku dengan struktur yang ditambahkan pengaku diagonal (*Single Diagonal*, *Inverted V* dan *X-Bracing*). Pada penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa dengan ditambahkan

pengaku diagonal dapat mengurangi periode struktur gedung serta mereduksi *displacement* struktur. Lalu dari ketiga pemodelan pengaku diagonal, yang paling efektif yaitu tipe *X-Bracing* dengan nilai simpangan paling kecil dan presentase reduksi perpindahan yang paling besar.

4. Respon dinamis struktur pada portal terbuka, portal dengan *bracing* “V” dan portal dengan *bracing* diagonal, (Nugroho 2018). Pada penelitian ini bertujuan untuk membandingkan respon dinamis struktur antara portal terbuka, portal dengan *bracing* “V” dan portal dengan *bracing* diagonal, yang ditinjau pada nilai perpindahan, simpangan antar lantai, dan gaya-gaya dalam pada bangunan. Kesimpulan dari penelitian ini yaitu dengan penambahan *bracing* dapat mengurangi nilai displacement dan simpangan antar lantai yang terjadi masih memenuhi batas yang diisyaratkan.