

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tinjauan Umum

Pada BAB II telah dijelaskan mengenai penelitian – penelitian yang sejenis dengan penelitian – penelitian yang akan diteliti, pada BAB III ini akan dibahas mengenai landasan teori sebagai pedoman dalam menyelesaikan masalah analisis penelitian yang akan dilakukan.

3.2 Material Baja

Baja merupakan bahan yang terbuat dari olahan besi, bahan ini memiliki kelebihan dibandingkan dengan bahan-bahan bangunan yang telah diketahui dan digunakan dalam konstruksi pada umumnya. Selain kekuatan dari bahannya yang besar untuk menerima kekuatan tarik dan tekan tanpa memerlukan banyak volume, baja juga memiliki sifat-sifat lain yang menguntungkan, sehingga konstruksi saat ini sering menjadikannya sebagai salah satu bahan bangunan yang biasa digunakan. Berikut ini beberapa sifat-sifat elemen struktur baja.

1. Kekuatan Tinggi

Baja dapat diproduksi dengan berbagai kekuatan yang dapat disimpulkan dengan kekuatan tegangan tekan lelehnya, atau oleh batas tegangan tarik baja. Walaupun bahan baja dari jenis yang paling rendah kekuatannya, tetap mempunyai rasio kekuatan tiap volume yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan bahan-bahan bangunan lainnya yang umum digunakan. Hal ini memungkinkan perencanaan sebuah bahan konstruksi dapat memiliki beban mati yang bernilai lebih kecil untuk bentang yang lebih panjang, sehingga dapat memberikan kelebihan ruang maupun volume yang dapat dimanfaatkan akibat dari langsingnya profil-profil yang dipakai.

2. Kemudahan Dalam Pelaksanaan

Setiap bagian-bagian konstruksi baja dapat dipersiapkan di bengkel atau pabrikasi, sehingga kegiatan yang dilaksanakan di lapangan ialah kegiatan pemasangan atau instalasi bagian-bagian konstruksi yang telah dipersiapkan. Sebagian besar dari komponen konstruksi mempunyai bentuk standar yang dapat diperoleh di toko-toko besi, jadi waktu yang akan diperlukan relatif singkat dan mudah.

3. Keseragaman

Sifat-sifat dari elemen baja, baik yang digunakan sebagai bangunan maupun dalam bentuk struktur diawasi dengan sangat baik, sehingga para insinyur dapat mengharapkan elemen-elemen dapat bertingkah laku sesuai dengan yang diharapkan pada saat perencanaan. Sehingga bisa mengurangi adanya proses pemborosan yang biasanya terjadi pada saat perencanaan akibat adanya berbagai ketidakpastian,

4. Daktilitas

Sifat daktilitas ini merupakan sifat dari komponen elemen baja yang dapat mengalami deformasi besar di bawah pengaruh tegangan tarik yang tinggi tanpa baja tersebut putus atau rusak. Adanya sifat ini membuat struktur baja dapat mencegah proses runtuhnya bangunan secara tiba-tiba. Daktilitas sangat menguntungkan dilihat dari keamanan pengguna bangunan bila terjadi suatu guncangan yang tiba-tiba seperti gempa bumi.

3.3 Struktur Rangka Baja Tahan Gempa

Berdasarkan peraturan SNI-03/1729/2015, pada bangunan baja bertingkat tahan gempa, bahan baja yang digunakan pada “Sistem Rangka Pemikul Momen Terbatas (SRPMT), Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Batang Pemikul Momen Khusus (SRBPMK), Sistem Rangka Bresing Konsentrik Khusus (SRBKK), Sistem Rangka Bresing Konsentrik Biasa (SRBKB),

Sistem Rangka Bresing Eksentris (SRBE)”, harus dapat memenuhi persyaratan-persyaratan berikut ini.

1. Nilai tegangan leleh baja terhadap tegangan putus tariknya yaitu bernilai kurang dari 0,85.
2. Nilai tegangan dan regangan harus memperlihatkan daerah yang cukup panjang.
3. Pengujian uniaksial Tarik pada spesimen baja memperlihatkan perpanjangan maksimum tidak kurang daripada 20%, untuk daerah pengukuran sepanjang 50 mm.
4. Mempunyai sifat yang mudah untuk dilas.

3.3.1 Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen memiliki kemampuan untuk menyerap energi yang baik, tetapi juga memerlukan terjadinya simpangan antar lantai yang cukup besar, agar dapat timbul sendi-sendi plastis pada komponen balok, hal tersebut untuk menyerap energi gempa yang diterima bangunan. Bangunan yang tinggi menambah simpangan yang terjadi dan dapat mengakibatkan kerusakan struktural atau non-struktural. Pada sistem rangka pemikul momen ini dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan sifat *moment resisting frames* seperti berikut.

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

SRPMB diharapkan dapat mengalami deformasi inelastik yang besar apabila dibebani oleh gaya-gaya yang berasal dari beban gempa rencana. Daktilitas pada SRPMB memiliki nilai yang kecil, namun kekakuan pada SRPMB lebih besar daripada SRBPMK.

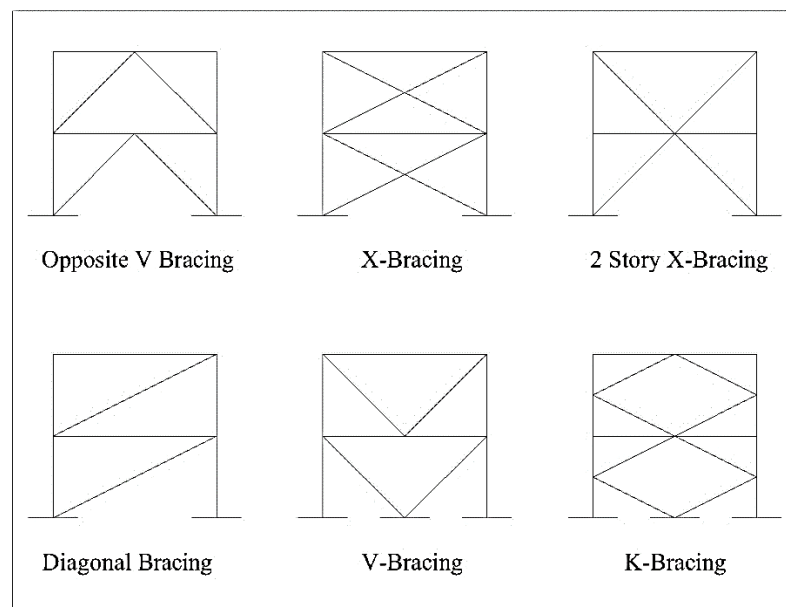
2. Sistem Rangka Batang Pemikul Momen Khusus (SRBPMK)

SRBPMK merupakan suatu komponen struktur rangka batang pemikul momen yang dipasang secara horizontal. Pada sistem ini terdapat suatu bagian khusus yang terdiri dari beberapa panel dengan batang-batangnya direncanakan secara khusus. Sistem ini direncanakan mengalami deformasi inelastik yang cukup

besar pada segmen khusus saat memikul gaya-gaya akibat beban gempa rencana.. Kolom dan daerah lainnya selain dari segmen khusus harus dapat direncanakan dalam keadaan elastis akibat gaya yang dihasilkan oleh segmen khusus pada saat mengalami pelelehan penuh hingga tahap perkerasan regangan.

3.3.2 Sistem Rangka Bresing Konsentrik

Penggunaan bresing bertujuan untuk mempertahankan stabilitas bangunan akibat gaya lateral maupun stabilitas struktur secara keseluruhan. Rangka bresing konsentrik adalah pengembangan dari sistem *Moment Resisting Frames* (MRF), karena pada rangka bresing konsentrik mampu menahan adanya gaya lateral dan memiliki tingkat kekakuan yang baik. Sedangkan pada MRF hanya dirancang untuk menahan momen yang terjadi. Berikut merupakan contoh dari tipe bresing konsentrik dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Tipe Bresing Konsentrik

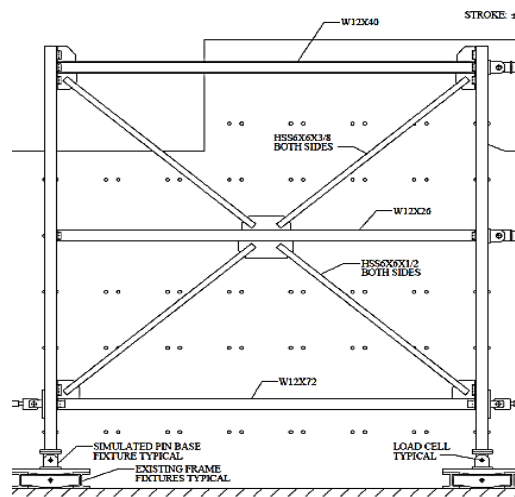
Sistem rangka bresing konsentrik dapat dibagi menjadi dua jenis sistem, yaitu Sistem Rangka Bresing Konsentrik Biasa (SRBKB) dan Sistem Rangka Bresing Konsentrik Khusus (SRBKK).

1. Sistem Rangka Bresing Konsentrik Biasa (SRBKB)

Pada sistem SRBKB ini diharapkan mampu mengalami deformasi inelastik secara terbatas, apabila struktur dibebani oleh gaya yang berasal dari beban gempa yang telah direncanakan sebelumnya.

2. Sistem Rangka Bresing Konsentrik Khusus (SRBKK).

Pada sistem ini mempunyai tingkat daktilitas lebih besar apabila dibandingkan dengan Sistem Rangka Bresing Konsentrik Biasa (SRBKB) mengingat penurunan kekuatannya memiliki nilai lebih kecil pada saat terjadi tekuk pada batang bresing tekan, maka harus diperhitungkan tingkat kelangsingannya. Gambar 3.2 berikut merupakan salah satu contoh bresing tipe x 2-lantai.



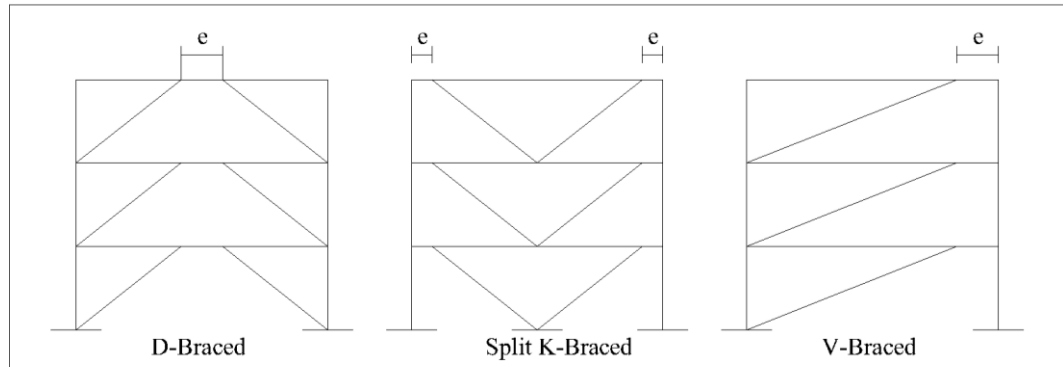
Gambar 3.2 Sistem Bresing X 2-Lantai

Sumber: Bradley C, Sizemore J, Nelson J. 2014

3.3.3 Sistem Rangka Bresing Eksentrik

Pada Sistem Rangka Bresing Eksentrik (SRBE) terdapat suatu bagian balok yang disebut *Link* dan direncanakan secara khusus. *Link* dapat diartikan sebagai bagian dari balok yang direncanakan untuk mengantisipasi adanya energi pada saat terjadinya gempa. Sistem SRBE diharapkan dapat mengalami deformasi inelastik yang besar pada *Link* saat sedang memikul gaya-gaya akibat beban gempa yang telah direncanakan. Komponen struktur di luar *Link* direncanakan untuk tetap pada keadaan elastik akibat gaya-gaya yang dihasilkan oleh *Link* pada saat mengalami pelelehan penuh hingga tahap perkerasan regangan, dan tegangan

leleh bahan baja yang digunakan tidak boleh lebih dari 350 MPa. Contoh jenis rangka bresing eksentrik dapat dilihat seperti pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Rangka Bresing Eksentrik

3.4 Beban

Beban dapat didefinisikan sebagai gaya luar yang bekerja pada suatu struktur. Pada umumnya penentuan suatu beban struktur hanya merupakan perkiraan, hal ini dikarenakan penentuan secara pasti suatu beban yang bekerja cukup sulit untuk dikerjakan, maka dari itu penentuan beban dalam suatu struktur memerlukan anggapan dan pendekatan. Dari penentuan beban diperlukan beberapa kombinasi beban yang mungkin dapat bekerja pada struktur tersebut. Kombinasi dari beban-beban yang bekerja diatur dalam peraturan SNI-03/1729/2015 pasal 6.2.2.

3.4.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian suatu struktur yang tidak berganti-ganti atau tetap, Termasuk dalam beban ini adalah dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, dan komponen arsitektural dan struktural lainnya (SNI-1727-2013). Contoh berat dari beberapa komponen bangunan dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan

Bahan Bangunan	Berat	Satuan
Baja	7850	kg/m ³
Beton	2200	kg/m ³
Beton Bertulang	2400	kg/m ³
Kayu (kelas I)	1000	kg/m ³
Pasir (Kering Udara)	1600	kg/m ³

Lanjutan Tabel 3.1

Komponen Gedung		
Spesi dari semen, per cm tebal	21	kg/m ²
Dinding bata merah ½ batu	250	kg/m ²
Penutup atap genting	50	kg/m ²
Penutup lantai ubin semen per cm tebal	24	kg/m ²

Sumber: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan

3.4.2 Beban Hidup

Beban hidup dapat didefinisikan sebagai beban gravitasi yang bekerja pada struktur bangunan dalam masa layannya, dan timbul akibat adanya penggunaan suatu gedung tersebut. Contoh dari beban ini adalah berat pengguna bangunan, peralatan dapat tidak tetap atau dapat dipindah-pindah, kendaraan, dan barang-barang lain yang tidak tetap. Penentuan nilai beban hidup secara pasti merupakan sesuatu hal yang cukup sulit, dalam tugas akhir ini penulis menggunakan peraturan SNI-1727/2013. Besaran nilai beban hidup untuk bangunan apartemen atau rumah tinggal dijelaskan pada Tabel. 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Daftar Beban Hidup Bangunan Apartemen

Penggunaan	Merata (kN/m ²)
Apartemen / Rumah Tinggal	
Hunian	
• Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang	0,48
• Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang	0,96
• Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur	1,44
• Semua ruang kecuali tangga dan balkon	1,92
Semua Hunian Rumah Tinggal Lainnya	
• Ruang pribadi dan koridor yang melayani	1,92
• Ruang publik dan koridor yang melayani	4,79
Atap	
• Atap datar, berbubung, dan lengkung	0,96
• Atap digunakan untuk taman atap	4,79

Sumber: SNI 1727:2013

Berdasarkan pasal 4.7.2 SNI 1727:2013, perlu adanya reduksi beban hidup apabila nilai perkalian antara faktor elemen beban hidup dengan luas tributari adalah $37,16 \text{ m}^2$ atau lebih, maka dicari beban hidup tereduksi dengan rumusan seperti berikut.

$$L = L_o \left(0,25 + \frac{15}{\sqrt{K_{LL} \cdot A_T}} \right) \quad (3.1)$$

Keterangan:

- L = Beban hidup reduksi (m^2)
- L_o = Beban hidup rencana tanpa reduksi (m^2)
- K_{LL} = Besaran faktor elemen untuk beban hidup
- A_T = Luasan daerah tributari dalam (m^2)

Dimana nilai “L” tidak boleh kurang dari $0,50L_o$, pada komponen struktur satu lantai, dan beban hidup reduksi juga tidak boleh kurang dari $0,40L_o$, pada komponen struktur lebih dari satu lantai.

3.4.3 Beban Gempa

Beban gempa merupakan semua jenis beban statik ekuivalen yang bekerja pada suatu struktur akibat terjadinya pergerakan tanah oleh kegiatan gempa bumi, baik pergerakan arah vertikal maupun horizontal. Namun pada umumnya percepatan tanah arah horizontal kana bernilai lebih besar dibandingkan arah vertikalnya, sehingga pengaruh gempa horizontal akan jauh lebih berpengaruh daripada gempa arah vertikal. Pembebanan gempa sesuai pada SNI 1726:2012 dengan langkah-langkah perhitungan seperti berikut.

- a. Menentukan kategori risiko bangunan

Kategori risiko suatu bangunan dikategorikan berdasarkan pada jenis penggunaan suatu bangunan, jenis penggunaan bangunan berpengaruh pada beban yang nantinya akan ditanggung oleh suatu struktur. Tabel kategori risiko bangunan dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Kategori Risiko Bangunan

Pemanfaatan Jenis Bangunan	Kategori Risiko
Non gedung dan gedung yang memiliki tingkat risiko yang rendah terhadap jiwa manusia ketika terjadinya kegagalan. <ul style="list-style-type: none"> – Fasilitas perikanan, pertanian, peternakan, dan perkebunan – Fasilitas tidak permanen – Tempat sarana penyimpanan – Pos jaga atau struktur kecil yang lain 	I
Setiap jenis gedung dan struktur lainnya, kecuali pada tingkat kategori risiko I, III, dan IV <ul style="list-style-type: none"> – Perumahan – Rumah toko dan kantor – Fasilitas Perdagangan – Bangunan perkantoran – Bangunan apartemen – Bangunan pusat perbelanjaan – Perindustrian – Bangunan manufaktur – Bangunan pabrik 	II
Non gedung dan gedung yang termasuk dalam tingkat risiko tinggi terhadap jiwa manusia ketika terjadinya kegagalan <ul style="list-style-type: none"> – Gedung bioskop – Fasilitas sarana pertemuan – Stadion olah raga – Fasilitas gedung kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan gawat darurat – Penjara – Fasilitas penitipan anak dan orang jompo 	III

<p>Non gedung dan gedung, yang tidak termasuk kategori tingkat IV, mempunyai potensi menyebabkan kerugian ekonomi</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pembangkit listrik - Fasilitas sarana penanganan sumber daya air - Sarana penanganan limbah - Fasilitas telekomunikasi 	
<p>Non gedung dan gedung yang ditunjukkan untuk fasilitas yang penting:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan monumental - Fasilitas sarana pendidikan dan gedung sekolah - Bangunan rumah Sakit - Sarana pemadam kebakaran - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi - Fasilitas kesusapan darurat <p>Struktur tambahan seperti penyimpanan bahan bakar, menara telekomunikasi, struktur stasiun listrik, menara pendingin, struktur rumah atau tangki air pemadam kebakaran atau peralatan pemadam kebakaran untuk keadaan darurat atau struktur pendukung air</p>	IV

Sumber: SNI 1726:2012

b. Faktor keutamaan gempa

Nilai faktor ini ditentukan berdasarkan kategori risiko bangunan, Tabel 3.4 berikut merupakan nilai faktor keutamaan gempa sesuai SNI-1726/2012.

Tabel 3.4 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (I_e)
I atau II	1
III	1,25
IV	1,5

Sumber: SNI-1726/2012

c. Pembuatan respon spektrum

Hasil respon spektrum bisa berbeda pada tiap lokasi bangunan. Karena dalam membuat respon spektrum bergantung pada koefisien percepatan respon spektrum pada batuan dasar, dan faktor amplifikasi koefisien situs. Baik itu pada periode pendek 0,2 detik atau pada periode 1 detik. Faktor amplifikasi dapat ditentukan dengan melihat tabel 3.5 dan 3.6 berikut ini.

Tabel 3.5 Koefisien Situs T=0,2 detik, F_a

Kelas Situs	Parameter respon spektrum periode pendek T=0,2 detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				

Tabel 3.6 Koefisien Situs T=1 detik

Kelas Situs	Parameter respon spektrum periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS^b				

d. Percepatan spektral desain

Nilai parameter percepatan spektral periode pendek (S_{DS}) dan nilai periode 1 detik (S_{D1}) dapat ditentukan dengan rumusan seperti berikut ini.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.2)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3.3)$$

$$T_0 = 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.4)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.5)$$

Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , maka digunakan rumus berikut.

$$S_a = S_{DS} \cdot \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.6)$$

Pada periode lebih besar atau sama dengan nilai T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan nilai T_s

$$S_a = S_{DS} \quad (3.7)$$

Pada periode yang bernilai lebih besar dari T_s , maka menggunakan rumusan di bawah.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.8)$$

Keterangan:

S_{DS} = Respons spektrum pada percepatan periode pendek

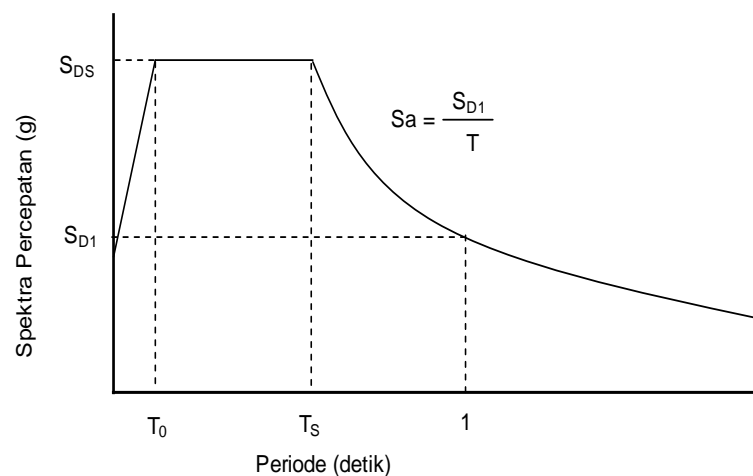
S_{D1} = Respons spektrum pada percepatan periode 1 detik

S_{MS} = Parameter percepatan spektrum desain untuk periode pendek

S_{M1} = Parameter percepatan spektrum desain untuk periode 1 detik

T = Periode getar fundamental struktur

Gambar 3.4 berikut merupakan penggambaran respon spektrum.



Gambar 3.4 Respon Spektrum

e. Kategori desain seismik struktur

Struktur harus ditentukan mempunyai kategori desain seismik sesuatu pada SNI-1726/2012. Penentuan kategori ini berdasarkan pada ukuran respons pada percepatan periode pendek maupun percepatan pada periode 1 detik. Tabel 3.7 dan Tabel 3.8 berikut merupakan tabel parameter untuk menentukan kategori desain seismik

Tabel 3.7 Kategori Desain Seismik 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

Tabel 3.8 Kategori Desain Seismik 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

f. Penentuan sistem penahan gaya seismik

Sistem penahan gaya seismik ditentukan oleh kategori desain seismik suatu bangunan dan tinggi struktur bangunan, jenis penahan gaya seismik mempengaruhi nilai koefisien modifikasi respons (R), faktor kuat lebih sistem (Ω_0), dan faktor pembesaran defleksi (C_d). Tabel 3.9 berikut merupakan rekapitulasi tabel penentuan sistem penahan gaya seismik.

Tabel 3.9 Sistem Penahan Gaya Seismik

Sistem penahan gaya seismik	R	Ω_0	C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur (m)				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
Rangka bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
Rangka baja bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
Rangka baja bresing konsentris biasa	3,25	2	3,25	TB	TB	10	10	TI
Rangka baja pemikul momen khusus	7	3	5,5	TB	TB	48	30	TI
Rangka baja pemikul momen menengah	4,5	3	4	TB	TB	10	TI	TI
Rangka baja pemikul momen biasa	3,5	3	3	TB	TB	TI	TI	TI

g. Penentuan fundamental struktur

Periode fundamental struktur didapatkan dari hasil analisa struktur, nilai periode yang digunakan harus sesuai dengan batasan yaitu apabila periode hasil analisa lebih besar dari nilai T_{max} , maka dipakai nilai T_{max} , apabila nilai periode hasil analisa di antara nilai T_a dan T_{max} , maka dipakai nilai periode hasil analisa, namun apabila nilai periode hasil analisa kurang dari nilai T_a maka nilai T_a dapat langsung digunakan untuk bangunan tersebut, dengan rumusan seperti berikut

$$T_a = C_t \times h_n^x \quad (3.9)$$

$$T_{max} = C_u \times T_a \quad (3.10)$$

Keterangan:

T_a = Periode fundamental pendekatan (detik)

C_t = Koefisien faktor pengali periode pendekatan

h_n = Ketinggian struktur

x = Koefisien faktor pengali periode pendekatan

Nilai faktor pengali periode pendekatan

Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (C_u) dan nilai parameter periode pendekatan C_t dan x dapat dilihat pada Tabel 3.10 dan Tabel 3.11 Berikut ini.

Tabel 3.10 Koefisien Nilai C_u

S_{DI}	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

Tabel 3.11 Nilai C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Rangka baja pemikul momen	0,724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentrik	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

h. Perhitungan gaya geser statik

Besar gaya geser dasar (statik ekuivalen) ditentukan berdasarkan persamaan berikut.

$$V = C_s \times W_t \quad (3.11)$$

Dimana C merupakan faktor respon gempa berdasarkan lokasi dari bangunan dan jenis tanahnya, I merupakan besaran faktor keutamaan gedung, sedangkan R adalah nilai faktor reduksi gempa yang tergantung pada jenis strukturnya, dan W_t merupakan berat total bangunan, termasuk juga beban hidup yang bersesuaian (Agus Setiawan, 2008).

3.5 Analisa Distribusi Gaya Horizontal

Distribusi gaya horizontal merupakan suatu gambaran dari beban gempa setelah disederhanakan dan dimodifikasi, yang mana gaya pada suatu massa akibat gempa disederhanakan menjadi gaya horizontal (Widodo, 2001). Gaya horizontal didapat dari gaya gempa yang didistribusikan pada tiap lantai bangunan yang dianalisis. Beban gempa yang disalurkan pada setiap lantai gedung sangat dipengaruhi oleh massa gedung. Penambahan besar massa gedung mampu memperbesar beban gempa, sehingga penggunaan struktur ringan dapat menjadi solusi yang disarankan untuk bangunan yang sering mengalami gempa bumi.

Untuk waktu getar gedung dapat dihitung dengan rumusan pada sub bab 3.4 sebelumnya. Beban gempa yang telah diperoleh lalu akan disalurkan pada setiap lantai bangunan sepanjang tinggi bangunan dengan rumus seperti berikut.

$$F_i = \frac{W_i \times h_i}{\sum W_i \times h_i^k} \cdot V \quad (3.12)$$

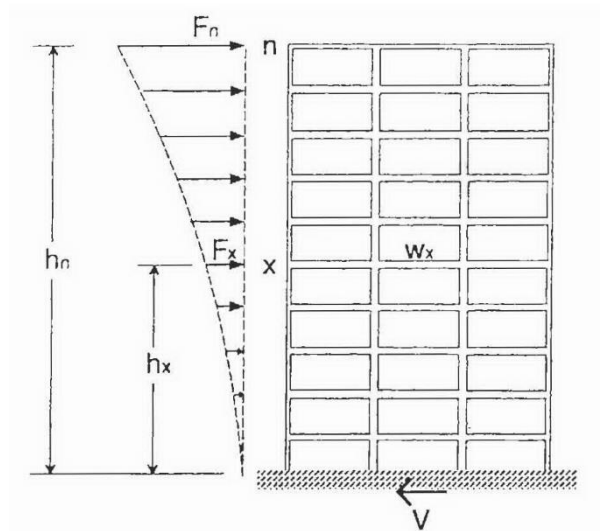
keterangan:

F_i = beban gempa horizontal terpusat lantai n (kg),

h_i = tinggi lantai tertentu dari tanah (m).

Dalam perhitungan analisa gaya geser statik pada tugas akhir ini, wilayah gempa ditetapkan pada wilayah DI Yogyakarta dan pada jenis tanah sedang, sedangkan berat total sendiri struktur didapat dari hasil analisis dengan program

komputer ETABS. Ilustrasi distribusi gaya horizontal ditampilkan seperti pada Gambar 3.5 di bawah.



Gambar 3.5 Distribusi Gaya Horizontal
Sumber: Ghosh & Fanella, 2003

3.6 Kombinasi Pembebanan

Pada setiap perencanaan struktur bangunan seluruh beban yang akan diterima struktur harus diperhitungkan agar bangunan tersebut tidak runtuh pada saat menerima kombinasi beban yang mungkin terjadi. Baban-beban yang diterima struktur tidak hanya salah satu melainkan kombinasi dari beban-beban tersebut. Oleh karena itu agar struktur bangunan memenuhi persyaratan terhadap kombinasi beban maka harus direncanakan mampu menahan pembebanan beban kombinasi di bawah ini.

$$1,4D \quad (3.13)$$

$$1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr / S / R) \quad (3.14)$$

$$1,2D + 1,6 (Lr / S / R) + (0,5L / 0,8W) \quad (3.15)$$

$$1,2D + 1,6W + 0,5 (Lr / S / R) \quad (3.16)$$

$$1,2D + 1,0E + 0,5L \quad (3.17)$$

$$0,9D + (1,6W / 1,0E) \quad (3.18)$$

Keterangan:

- D = Merupakan beban mati yang muncul akibat dari berat konstruksi, beban ini termasuk dinding bangunan, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan layan yang bersifat tetap
- L = Merupakan beban hidup yang muncul akibat dari penggunaan gedung, namun bukan beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain
- Lr = Merupakan beban hidup pada atap yang muncul selama proses perawatan oleh pekerja bangunan, material, dan peralatan, atau selama penggunaan biasa dan benda yang bergerak
- R = Merupakan beban dari hujan, namun bukan beban yang diakibatkan dari adanya genangan air
- W = Merupakan beban angin yang diterima bangunan
- E = Merupakan beban gempa yang dialami bangunan, yang ditentukan menurut SNI-03/1726/2012, atau penggantinya

Berdasarkan pasal 7.4.2.3 SNI 1726:2012 perlu adanya tambahan beban kombinasi dalam memperhitungkan beban gempa yang diterima struktur bangunan. Khususnya beban gempa horizontal (E_h) harus ditentukan dengan rumusan berikut.

$$E_h = \rho \cdot Q_E \quad (3.19)$$

Q_E adalah Pengaruh gaya akibat gempa horizontal yang dialami struktur bangunan, sedangkan ρ merupakan faktor redundansi yang telah diatur pada SNI 1726:2012. Nilai ρ diizinkan bernilai 1,0 untuk struktur yang dirancang pada kategori desain seismik B atau C. Untuk bangunan kategori desain seismik D sampai F, nilai ρ harus sama dengan 1,3 kecuali jika satu dari dua kondisi pada pasal 7.3.4.2 SNI 1726:2012 terpenuhi, maka diizinkan diambil nilai redundansi sebesar 1,0. Sehingga beban kombinasi tambahan seperti berikut.

$$(1,2 + 0,2 S_{DS})D + \rho Q_E + L \quad (3.20)$$

$$(0,9 - 0,2 S_{DS})D + \rho Q_E + 1,6H \quad (3.21)$$

3.7 Penentuan Skala Gaya

Menurut pasal 7.9.4.1 SNI 1726 : 2012, periode CuTa harus digunakan sebagai periode struktur dalam analisis apabila periode yang dihitung melalui program nilainya melebihi CuTa. Gaya geser akibat beban dinamik perlu diselaraskan dengan gaya geser akibat beban statis. Penyelarasan gaya geser akibat beban dinamik dapat dilihat pada persamaan berikut ini.

$$0.85 \frac{V}{V_T} \quad (3.22)$$

Keterangan :

V = Gaya geser dasar prosedur gaya lateral ekuivalen (ton)

V_T = Gaya geser dasar dari kombinasi ragam yang disyaratkan (ton)

3.8 Penentuan Dimensi Elemen Struktur

Dalam menentukan dimensi profil yang digunakan pada tugas akhir ini mengikuti peraturan SNI-1729/2015 yang berisi mengenai spesifikasi untuk struktur bangunan gedung baja.

3.8.1 Cek profil kompak

Profil yang digunakan harus termasuk dalam kondisi kompak agar aman untuk digunakan pada struktur. Dalam pengecekan profil kompak, profil dikatakan kompak apabila memenuhi persamaan berikut.

$$\frac{b}{t} < \lambda c \quad (3.23)$$

Keterangan:

b : Lebar profil

t : Tebal profil

λc : Batasan rasio tebal-lebar

Berdasarkan persamaan tersebut, hasil perbandingan lebar dan tebal profil tidak boleh lebih dari batasan rasio tebal dan lebar profil. Sedangkan nilai dari λc bisa dilihat pada Tabel 3.12 berikut.

Tabel 3.12 Rasio Elemen Tekan

Kasus	Deskripsi Elemen	Batasan Rasio Tebal-Lebar (λc)
1	Sayap dari profil I canai panas, pelat yang diproyeksikan dari profil I canai panas; kaki berdiri bebas dari sepasang siku disambung dengan kontak menerus, sayap dari kanal, dan sayap dari T	$0,56\sqrt{E/Fy}$
2	Sayap dari profil I tersusun dan pelat atau kaki siku yang diproyeksikan dari profil I tersusun	$0,64\sqrt{\frac{Kc.E}{Fy}}$
3	Kaki dari siku tunggal, kaki dari siku ganda dengan pemisah, dan semua elemen tak-diperkaku lainnya	$0,45\sqrt{\frac{E}{Fy}}$
4	Stem dari T	$0,75\sqrt{\frac{E}{Fy}}$
5	Badan dari profil I simetris ganda dan kanal	$1,49\sqrt{\frac{E}{Fy}}$
6	Dinding PSB persegi dan boks dari ketebalan merata	$1,40\sqrt{\frac{E}{Fy}}$
7	Pelat penutup sayap dan pelat diafragma antara deretan sarana penyambung atau las	$1,40\sqrt{\frac{E}{Fy}}$

3.8.2 Cek Kelangsingan Profil

Berdasarkan peraturan SNI 1729:2015 perlu dilakukan pengecekan kelangsingan profil yang digunakan, kelangsingan profil dipengaruhi oleh panjang komponen struktur, dan radius girasinya. Rasio kelangsingan efektif harus kurang dari 200 seperti pada persamaan berikut.

$$\frac{K.L}{r} < 200 \quad (3.24)$$

Keterangan:

K : Panjang efektif

L : Panjang komponen struktur

r : Radius girasi komponen struktur

3.8.3 Perhitungan profil tekan

Dalam menentukan profil tekan yang akan digunakan pada suatu struktur, dipengaruhi oleh nilai tekanan kritis searah profil (F_{cr}), tekanan kritis searah profil merupakan tekanan yang diterima suatu elemen struktur hingga kondisi kritisnya, dimana kondisi kritis tersebut merupakan kapasitas beban aksial maksimum yang dapat diterima suatu elemen struktur. Nilai F_{cr} didapat berdasarkan dua kondisi seperti persamaan berikut.

1. Kondisi pertama

$$\text{Jika } \frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.25)$$

$$\text{Maka } F_{cr} = 0,877 \cdot F_e \quad (3.26)$$

2. Kondisi kedua

$$\text{Jika } \frac{KL}{r} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.27)$$

$$\text{Maka } F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y \quad (3.28)$$

Berdasarkan persamaan di atas maka dapat dicari nilai kapasitas tekan pada elemen struktur dengan rumusan seperti berikut.

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g \quad (3.29)$$

Keterangan:

F_{cr} : Tekanan kritis

A_g : Luasan kotor profil

3.8.4 Perhitungan profil tarik

Penentuan profil elemen tarik pada struktur bangunan dipengaruhi oleh nilai tekanan ultimit profil dan luasan efektif suatu profil. Pada tugas akhir ini diambil nilai luas lubang yaitu 25% dari luasan kotor profil. Perhitungan menggunakan peraturan SNI 1729:2015 dengan persamaan seperti berikut.

$$T_n = F_u \cdot A_e \quad (3.30)$$

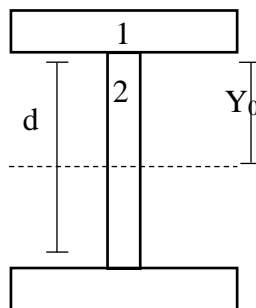
Keterangan:

F_u : Tekanan ultimit profil

A_e : Luasan efektif

3.8.5 Perhitungan profil lentur

Penentuan profil lentur bergantung pada nilai modulus penampang plastis profil (Z), perhitungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan uraian berikut.



Gambar 3.6 Ilustrasi Profil Lentur

$$Y_0 = \frac{A_1 \times Y_1 + A_2 \times Y_2}{A_1 + A_2} \quad (3.31)$$

$$d = 2 \times Y_0 \quad (3.32)$$

$$Z = (A_1 + A_2) \times d \quad (3.33)$$

Keterangan:

Y_0 : Titik berat profil

A_1 : Luasan bagian 1

- A_2 : Luasan bagian 2
 d : Titik berat gabungan
 Z : Modulus Penampang Plastis

3.9 Ketidakberaturan Struktur Horizontal

Ketidakberaturan struktur dapat terjadi apabila adanya bentuk bangunan yang tidak simetris. Berdasarkan peraturan SNI 1726:2012 ketidakberaturan horizontal dibedakan menjadi 5 jenis seperti penjelasan di bawah ini.

1. Ketidakberaturan Torsional

Ketidakberaturan torsional dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu.

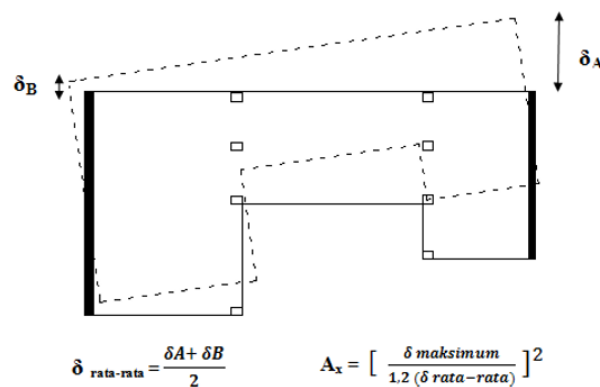
- a. Ketidakberaturan torsi terjadi apabila simpangan antar lantai tingkat maksimum di sebuah ujung struktur melintang, bernilai lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata pada kedua ujung strukturnya, seperti persamaan berikut.

$$1,2 \delta_{\text{rerata}} \leq \delta_{\text{max}} < 1,4 \delta_{\text{rerata}} \quad (3.34)$$

- b. Ketidakberaturan torsi berlebihan terjadi apabila simpangan antar lantai tingkat maksimum pada ujung struktur, lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Sehingga dapat dirumuskan seperti persamaan berikut.

$$\delta_{\text{max}} > 1,4 \delta_{\text{rerata}} \quad (3.35)$$

Gambar 3.7 berikut merupakan gambaran ketidakberaturan torsional.

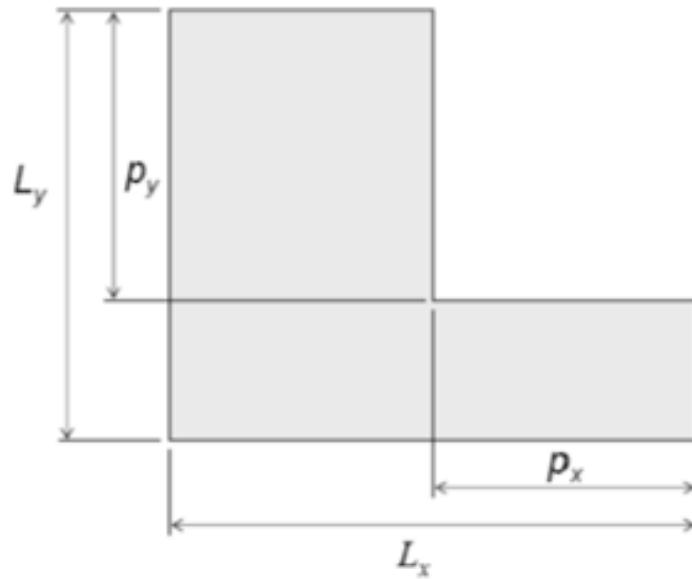


Gambar 3.7 Ketidakberaturan Torsional

Sumber: SNI 1726:2012

2. Ketidakberaturan Sudut Dalam

Ketidakberaturan sudut dalam terjadi apabila kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur pada arah yang telah ditentukan, ketidakberaturan sudut dalam bisa dilihat pada Gambar 3.8 di bawah ini.



Gambar 3.8 Ketidakberaturan Sudut Dalam

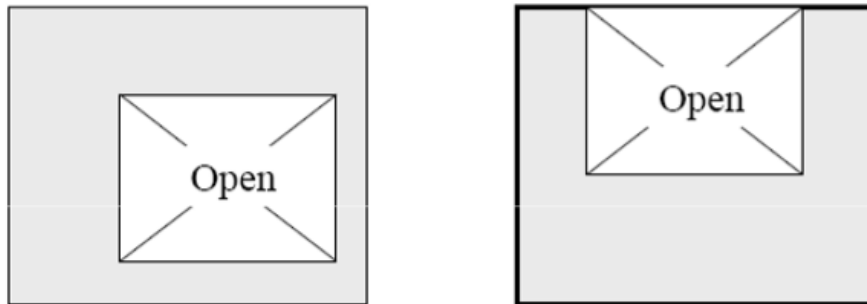
Sumber: FEMA 451

Berdasarkan gambar tersebut maka ketidakberaturan ini terjadi bila memenuhi persamaan berikut.

$$P_y > 0,15L_y \text{ dan } P_x > 0,15L_x \quad (3.36)$$

3. Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

Ketidakberaturan ini terjadi jika terdapat diafragma dengan variasi kekakuan yang mendadak, termasuk daerah yang terbuka lebih besar dari 50 persen daerah diafragma keseluruhan yang melingkupinya, seperti pada Gambar 3.9 Berikut.

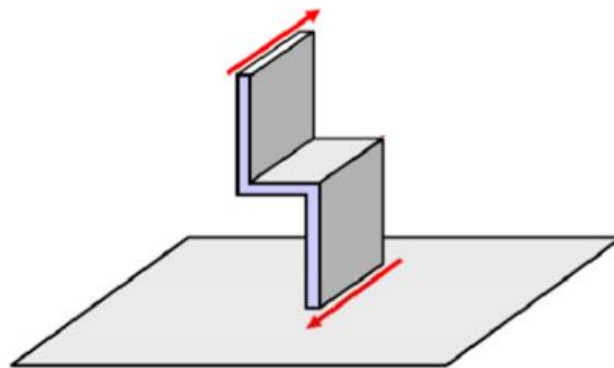


Gambar 3.9 Ketidakbeturan Diskontinuitas Diafragma

Sumber: FEMA 451

4. Ketidakberaturan Pergeseran Bidang

Ketidakteraturan ini dikatakan ada apabila pada suatu bangunan terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral bangunan, seperti adanya pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikalnya. Ilustrasi jenis ketidakberaturan ini dapat dilihat pada Gambar 3.10 berikut.

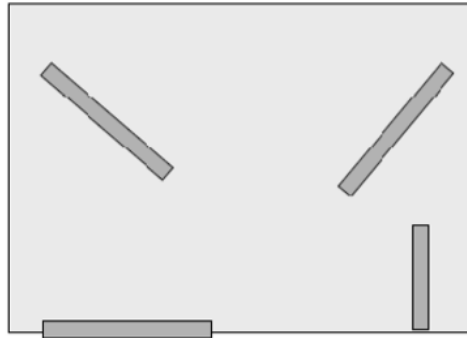


Gambar 3.10 Ketidakberaturan Pergeseran Bidang

Sumber: FEMA 451

5. Ketidakberaturan Sistem Nonparallel

Ketidakteraturan jenis ini terjadi apabila elemen penahan gaya lateral vertikal tidak sejajar atau simetris dengan sumbu-sumbu orthogonal utama dari sistem penahan gaya gempa, Ilustrasi jenis ketidakberaturan ini dapat dilihat pada Gambar 3.11 berikut.



Gambar 3.11 Ketidakberaturan Sistem Nonparalel

Sumber: FEMA 451

3.10 Ketidakberaturan Struktur Vertikal

Ketidakberaturan struktur vertikal dikategorikan menjadi 5 kategori seperti berikut.

1. Ketidakberaturan tingkat lunak (Soft Story)

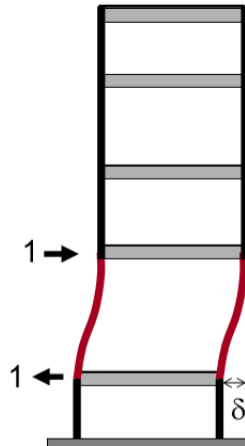
Ketidakberaturan jenis ini diklasifikasikan menjadi 2 jenis seperti dibawah ini.

a. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak

Ketidakberaturan ini terjadi apabila terdapat suatu tingkat dengan kekakuan lateralnya kurang dari 70% nilai kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% nilai kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya

b. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan

Ketidakberaturan ini terjadi apabila terdapat suatu tingkat dengan kekakuan lateralnya kurang dari 60% nilai kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70% nilai kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya

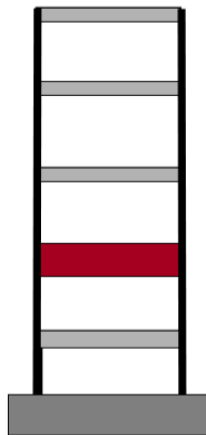


Gambar 3.12 Ketidakberaturan Tingkat Lunak

Sumber: FEMA 451

2. Ketidakberaturan Berat (Massa)

Ketidakberaturan jenis ini terjadi apabila massa pada suatu tingkat lebih dari 150% massa tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.

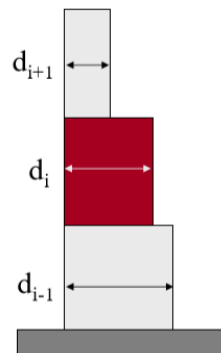


Gambar 3.13 Ketidakberaturan Berat

Sumber: FEMA 451

3. Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Kategori ini terjadi apabila dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa di seluruh tingkat lebih dari 130% dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa tingkat didekatnya.

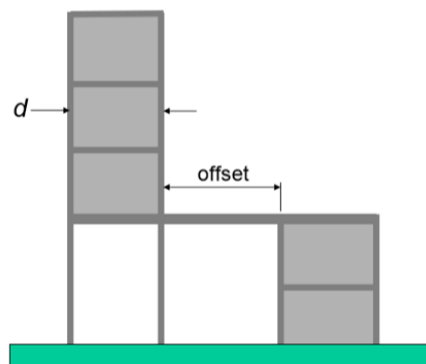


Gambar 3.14 Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Sumber: FEMA 451

4. Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal

Ketidakteraturan ini ada apabila pergeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya



Gambar 3.15 Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal

Sumber: FEMA 451

5. Diskontinuitas Kuat Lateral Tingkat

Ketidakteraturan kategori ini di bedakan menjadi 2 jenis seperti di bawah ini.

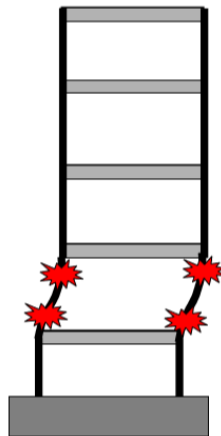
- a. Diskontinuitas Dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat

Kategori ketidakberaturan vertikal ini ada apabila kuat lateral tingkat kurang dari 80% kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat

adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.

b. Diskontinuitas Dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat yang Berlebihan

Kategori ketidakberaturan vertikal ini ada apabila kuat lateral tingkat kurang dari 80% kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismic yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.



Gambar 3.16 Diskontinuitas Kuat Lateral Tingkat

3.11 Cek Pengaruh P-delta

Berdasarkan SNI 17126:2012 bahwa koefisien stabilitas (θ) mempengaruhi suatu struktur harus memperhitungkan adanya pengaruh p-delta atau tidak. Pengaruh p-delta perlu dihitung apabila nilai koefisien stabilitas sama dengan atau kurang dari 0,10. Koefisien stabilitas dapat dihitung dengan rumusan seperti berikut ini:

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_x C_d} \quad (3.37)$$

Keterangan:

P_x : Beban desain vertikal kumulatif

Δ : Simpangan antar lantai

I_e : Faktor keutamaan gempa

h_x : Tinggi tingkat

C_d : Faktor pembesaran defleksi

Koefisien stabilitas harus tidak lebih dari koefisien stabilitas maksimum (θ_{max}), nilai tersebut dapat dicari dengan rumusan berikut.

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} < 0,25 \quad (3.38)$$

Nilai β merupakan rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser pada tingkat yang ditinjau dan tingkat sebelumnya. Rasio ini diizinkan diambil nilai sebesar 1,0. Jika θ lebih besar dari θ_{max} , maka struktur tersebut berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang.

3.12 Kerusakan Bangunan Akibat Gempa

Setiap bangunan memiliki respons berbeda-beda akibat dari gempa yang terjadi, dalam perencanaan kita dapat merancang respons suatu bangunan bila mengalami gempa tertentu nantinya, sehingga dapat meningkatkan ketahanan bangunan terhadap gempa dan meminimalisir adanya kerugian yang akan ditimbulkan akibat gempa tersebut.

3.13 Program Komputer

Dalam penyelesaian penelitian kali ini, menggunakan program komputer, baik dalam analisa struktur maupun pengolahan data, untuk analisa struktur pada pemodelan kali ini, menggunakan program ETABS, ETABS merupakan salah satu program analisis dan desain struktur bangunan tingkat tinggi yang banyak digunakan sekarang ini. Program ini dikembangkan oleh perusahaan bernama *software Computers and Structures, Incorporated (CSI)* yang berada di Berkeley, California, Amerika Serikat. Berawal dari penelitian dan pengembangan riset pada tahun 1970 oleh Dr. Edward L. Wilson di *University of California*, Berkeley, Amerika Serikat. Selain menggunakan program analisa struktur, dalam pengolahan data menggunakan program Microsoft Excel, program ini merupakan program yang didistribusikan oleh perusahaan Microsoft, dan salah satu program yang juga sering digunakan dalam mengolah data, penggunaan program komputer tersebut bertujuan untuk membantu dalam perhitungan sehingga didapatkan hasil yang lebih teliti.