BAB II
LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian yang pernah dilakukan berhubungan dengan struktur bracing pada bangunan bertingkat menggunakan struktur baja antara lain :

1. Dalam jurnal Arie (2011), mengenai bresing yang baik untuk struktur gedung tahan gempa dan hasil studinya merupakan evaluasi dari perilaku gempa dan perubahan peningkatan rangka baja bresing konsentrik (OCBF) untuk kebaikan gempa di masa mendatang yang ditinjau dengan analisis snap 2D dimana program ini untuk mengakses permintaan gempa dan bentuk rangka bresing. Kemudian model bresing yang paling baik yaitu dengan bentuk konfigurasi x sistem balok kuat-bresing lemah.
2. Dalam penelitian Andy (2017), melakukan studi perbandingan konfigurasi sistem rangka bresing tahan tekuk terhadap gempa dan mendapatkan hasil analisis elastik-linier membuktikan bahwa struktur bresing tahan tekuk yang paling efisien adalah struktur bresing tahan tekuk dengan konfigurasi V terbalik karena memiliki perioda struktur yang terpendek dan memiliki simpangan antar lantai terkecil dibandingkan dengan konfigurasi bresing lainnya. Dalam setiap konfigurasi struktur, terdapat karakteristik dari setiap konfigurasi tersebut sehingga menghasilkan gaya dalam yang berbeda dan akan menyebabkan penentuan dimensi struktur yang berbeda-beda untuk memenuhi desain kapasitas. Pada analisis *pushover*, diperlihatkan bahwa struktur rangka bresing tahan tekuk yang paling optimal adalah struktur rangka bresing tahan tekuk dengan konfigurasi V terbalik dengan tingkat kinerja *Life Safety*, sedangkan untuk konfigurasi Diagonal Sederhana dan konfigurasi X dinyatakan bahwa struktur berada pada tingkat kinerja *Collapse Prevention* dengan kenyataan bahwa bangunan tersebut tidak aman untuk digunakan.

3. Dalam penelitian Irsyad (2013), melakukan studi perbandingan beberapa bentuk penampang bresing anti tekuk pada struktur bangunan baja akibat beban gempa dengan software MIDAS FEA hasilnya adalah jenis BRB yang dianalisa adalah baja inti silang dengan berbagai casing yang berbeda, diantaranya yaitu penampang kotak dengan beton, penampang bulat dengan beton, serta penampang baja *multibox.* Ketiganya dimodelkan dengan program bantu Midas FEA. Jenis pembebanan yang diberikan adalah beban *pressure* yang dibebankan pada ujung pertemuan balok dengan kolom sebesar 50N/mm^2. Penampang BRB dengan tegangan yang paling besar adalah penampang persegi, sedangkan penampang *multibox* memiliki tegangan dan regangan yang rendah. Bagian terlemah pada penampang persegi, lingkaran, dan penampang *multibox* seluruhnya terjadi pada inti baja. Antara inti baja dengan beton ataupun casing terdapat material *unbonding*, sehingga yang menerima gaya aksial hanyalah inti baja sedangkan *casing* dan beton hanya berfungsi mencegah tekuk pada inti baja, sedangkan hasil analisa *pushover* portal (*two story*) menunjukkan bahwa penampang bressing juga mengalami kelelehan terlebih dahulu dibanding dengan penampang yang lainnya.
4. Dalam jurnal Fajri (2015), mengenai analisis konfigurasi bentuk pengaku pada perencanaan struktur gedung rangka baja dengan pengaku konsentrik dengan hasil yang didapatkan yaitu pemilihan konfigurasi yang tepat juga memberikan pengaruh yang cukup signifikan selain jenis profil dan tipe bresing, terutama untuk mereduksi bobot bangunan dan bentuk struktur, kemudian pengaku (bresing) yang dipasang pada tiap-tiap portal pinggir baik arah memanjang maupun memendek ternyata tetap menunjukkan perilaku struktur yang simetris dan pengaku (bresing) dengan profil siku tidak memberikan banyak pilihan bentuk penampang yang kompak.

2.2 Baja Sebagai Bahan Bangunan

Sejak permulaan sejarah, manusia telah berusaha mencari bahan yang tepat untuk membangun tempat tinggal. Dengan ditemukannya besi yang kemudian bisa diolah menjadi bahan baja maka tampaklah bahwa semua bahan bangunan yang telah dikenal dan dipakai umumnya mempunyai kekurangan bila dibandingkan dengan bahan baja, seperti kayu yang terlalu lemah, batu yang volumenya terlalu besar, kurang memiliki daya tahan terhadap tarik dan terlalu getas terhadap lenturan seperti batu dan beton. Selain kekuatannya yang besar untuk menahan gaya tarik dan tekan tanpa memerlukan volume yang besar, baja juga mempunyai sifat-sifat lain diantaranya :

1. Kekutan tinggi

   Bahan baja walaupun dari jenis yang paling rendah kekuatannya, tetap mempunyai perbandingan kekuatan pervolume lebih tinggi bila dibandingkan dengan bahan-bahan lainnya.

2. Kemudahan pemasangan

   Kegiatan yang dilakukan satu-satunya dilapangan adalah pemasangan bagian konstruksi yang telah disiapkan. Komponen baja biasanya mempunyai bentuk standar dan sifat-sifat tertentu, serta mudah untuk diperoleh dimana saja sehingga waktu yang diperlukan tidak begitu banyak.

3. Keseragaman

   Sifat dari baja baik sebagai bahan bangunan maupun dalam bentuk struktur terkendali dengan baik, sehingga elemen-elemen dari konstruksi bisa bertingkah laku sesuai perencanaan serta bisa menghindari terjadinya pemborosan.

4. Daktilitas

   Sifat baja yang dapat mengalami deformasi yang besar di bawah pengaruh tegangan tarik yang tinggi tanpa hancur dan atau putus disebut sifat daktilitas.

Keuntungan lain yang dapat diperoleh dari struktur baja, yaitu :

1. Proses pemasangan dilapangan berlangsung dengan cepat.
2. Dapat dilas.
3. Komponen-komponen strukturnya dapat digunakan untuk keperluaan lainnya.
4. Komponen yang tidak dapat digunakan lagi bisa dimanfaatkan dengan dijual.
5. Struktur yang dihasilkan bersifat permanen dengan pemeliharaan yang tidak terlalu sukar.

Disamping kelebihannya bahan baja juga memiliki kekurangan, yaitu :

1. Komponen yang terbuat dari bahan baja perlu diusahakan untuk bisa tahan terhadap api sesuai dengan persyaratan yang ada.
2. Diperlukan biaya tambahan untuk pemeliharaan agar terhindar dari karat.
3. Akibat kemampuan menahan tekukan pada batang-batang yang langsing, walaupun dapat menahan gaya aksial, tetapi tidak bisa mencegah terjadinya pergeseran horisontal.

Berdasarkan tegangan leleh dan tegangan putusnya, diklasifikasikan mutu dari material baja menjadi 5 kelas mutu sebagai berikut :

Tabel 2.1 Sifat Mekanis Baja Struktural

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, fu (MPa)	Tegangan leleh minimum, fy (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 : Buku Perencanaan Sturktur Baja dengan metode LRFD, hal 20

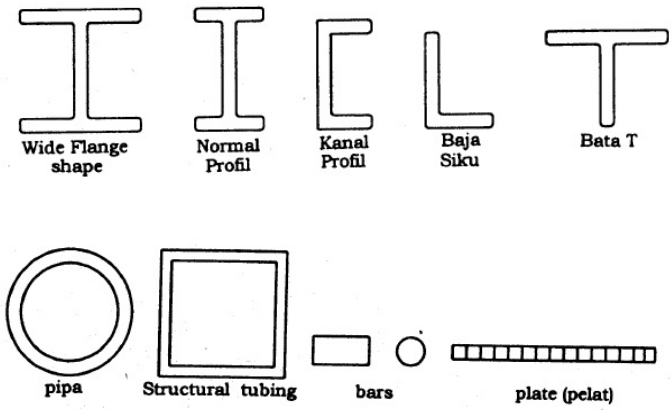
Ketentuan perencanaan untuk tegangan leleh (f_y) dan tegangan putus (f_u) tidak boleh diambil melebihi nilai yang diberikan pada tabel diatas.

2.3 Profil Baja

Ada dua macam bentuk profil baja berdasarkan cara pembuatannya, yaitu :

1. *Hot rolled shapes*; disini profil baja dibentuk dengan cara blok-blok baja yang panas diproses melalui rol-rol dalam pabrik. Hot rolled shapes ini mengandung tegangan residu (*residual stress*).
2. *Cold formed shapes*; profil ini dibentuk dari pelat-pelat yang sudah jadi, menjadi profil baja dalam temperatur atmosfer (dalam keadaan dingin). Profil macam ini ringan dan sering disebut dengan *Light Gage Cold Form Steel*.

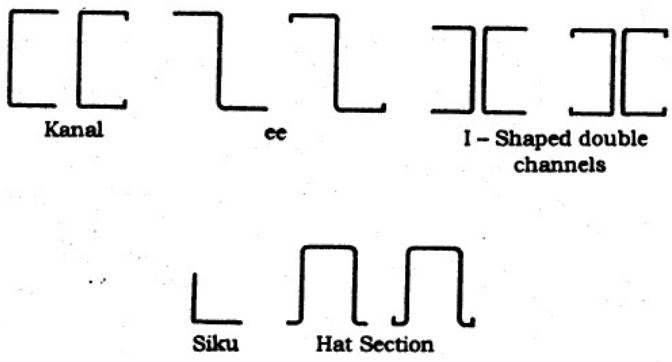
a. Standard rolled shapes



Gambar 2.1 Profil Baja *Standard Rolled Shapes*

Sumber : Buku Konstruksi Baja, hal 25 – 26

b. Cold formed shapes



Gambar 2.2 Profil Baja *Cold Formed Shapes*

Sumber : Buku Konstruksi Baja, hal 26

2.4 Sistem Perencanaan Struktur

Dalam perencanaan struktur konstruksi bangunan, perlu diperhatikan konsep dasar dalam pemilihan elemen yang baik secara struktural maupun fungsional. Dalam perencanaan struktur terdapat beberapa sistem yang digunakan yaitu perencanaan terhadap beban lateral, beban gravitasi dan beban gempa.

2.4.1 Sistem Perencanaan Terhadap Beban Lateral

Salah satu hal penting pada struktur bangunan tinggi adalah stabilitas dan kemampuannya menahan gaya lateral baik yang disebabkan oleh angin maupun gempa bumi. Beban angin terkait pada dimensi ketinggian bangunan sedangkan beban gempa lebih terkait pada masa bangunan. Sistem pengaku gaya lateral yang sering digunakan adalah portal penahan momen, dinding geser (*shearwall*) atau rangka pengaku.

2.4.2 Sistem Perencanaan Terhadap Beban Gravitasi

Beban gravitasi merupakan beban yang berasal dari beban mati struktur dan beban hidup yang besarnya disesuaikan dengan fungsi bangunan. Elemen-elemen penahan gaya gravitasi terdiri atas elemen struktur horizontal dan vertikal. Pada bangunan tinggi, elemen struktur horizontal tidak dipengaruhi oleh banyaknya lantai. Dimensi elemen struktur ini hanya dipengaruhi oleh panjang bentang dan beban yang bekerja padanya. Elemen struktur vertikal lebih dominan memikul gaya aksial. Beban yang diterima oeleh elemen strukur vertikal (kolom dan dinding geser) merupakan akumulasi dari beban-beban lantai diatasnya. Semakin ke bawah gaya aksialnya makin besar sehingga dimensinya semakin ke bawah juga semakin besar.

2.4.3 Sistem Perencanaan Terhadap Beban Gempa

Perencanaan gempa pada struktur bangunan gedung yang perlu diperhatikan adalah penentuan dari gempa rencana dan perhitungan gempa nominal, faktor keutamaan, daktilitas struktur dan jenis tanah dasar serta pembatasan periode getar. Dalam menganalisa pembebanan gempa dapat dilakukan dengan analisis statik ekivalen dan analisis dinamik dengan metode respon spektrum.

Apabila distribusi gaya geser dari hasil analisis dinamik dengan metode respon spektrum hasilnya lebih kecil maka gaya tersebut harus dikalikan hingga mencapai 0,85V hasil analisis statik sedangkan jika gaya geser dari hasil analisis dinamik dengan metode respon spektrum hasilnya lebih besar maka beban gempa analisis dinamik tersebut dapat digunakan.

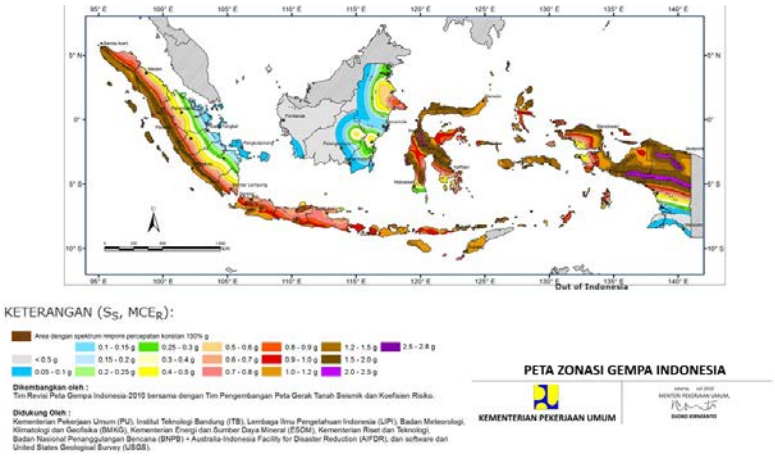
Berikut ini analisis dinamik dengan metode respon spektrum :

a. Gempa rencana

Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarannya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%.

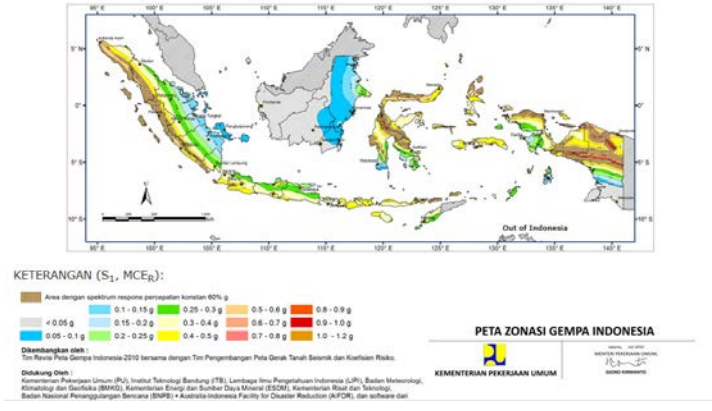
Langkah-langkah membuat respon spektrum desain :

1. Menentukan S_s dan S_1 yang didapat dari peta gempa.



Gambar 2.3 Peta Gempa S_s

Sumber : http://puskim.pu.go.id/aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/



Gambar 2.4 Peta Gempa S_1

Sumber : http://puskim.pu.go.id/aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/

2. Menentukan jenis tanah dan koefisien situs. Setelah jenis tanah ditentukan, dengan nilai S_s dan S_1 yang di peroleh dari langkah pertama (tabel), maka ditemukan faktor *amplifikasi* meliputi faktor *amplifikasi* getaran terkait pecepatan pada getaran perioda pendek (Fa) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (Fv).

Tabel 2.2 Koefisien Lokasi, Fa

Kelas Lokasi	Parameter respon spektra percepatan Gempa Tertimbang Maksimum untuk perioda pendek, S_s				
	$S_s \leq 0{,}25$	$S_s = 0{,}5$	$S_s = 0{,}75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1{,}25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1	1	1	1	1
SC	1,2	1,2	1,1	1	1
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	Pasal 11.4.7 (ASCE 7-10)				

Sumber : SNI Gempa 1726:2012, hal 22

Tabel 2.3 Koefisien Lokasi, Fv

Kelas Lokasi	Parameter respon spektra percepatan Gempa Tertimbang Maksimum untuk perioda 1,0 detik, S_1				
	$S_1 \leq 1{,}0$	$S_1 = 0{,}2$	$S_1 = 0{,}3$	$S_1 = 0{,}4$	$S_1 = 0{,}5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1	1	1	1	1
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	Pasal 11.4.7 (ASCE 7-10)				

Sumber : SNI Gempa 1726:2012, hal 22

3. Menghitung parameter respon spektrum percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, ditentukan dengan perumusan berikut :

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad \text{.....} \quad (2.1)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad \text{.....} \quad (2.2)$$

4. Menghitung parameter percepatan spektral desain

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek (S_{DS}) dan perioda 1 detik (S_{D1}), ditentukan dengan rumus berikut :

$$S_{Ds} = \frac{2}{3} \cdot S_{Ms} \quad \text{..... (2.3)}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \cdot S_{M1} \quad \text{..... (2.4)}$$

5. Spektrum respon desain

Untuk perioda lebih kecil dari T_o, spektrum respon percepatan desain, S_a harus diambil dari :

$$S_a = S_{Ds}\left(0{,}4 + 0{,}6 \cdot \frac{T}{T_o}\right) \quad \text{..... (2.5)}$$

Untuk perioda lebih besar atau sama dengan T_o dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s, spektrum respon percepatan desain S_a sama dengan S_{DS}. Untuk perioda lebih besar dari T_s, spektrum respon percepatan desain S_a diambil berdasarkan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad \text{..... (2.6)}$$

$$T_o = 0{,}2 \cdot \frac{S_{D1}}{S_{Ds}} \quad \text{..... (2.7)}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{Ds}} \quad \text{..... (2.8)}$$

6. Menentukan faktor keutamaan dan kategori risiko struktur bangunan.

Tabel 2.4 Kategori Resiko Bangunan Gedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain : - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara dan gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecillainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar dan pusat perbelanjaan / mall - Gedung perkantoran - Gedung apartemen / rumah susun - Bangunan industri, fasilitas manufaktur dan pabrik	II

Sumber : SNI Gempa 1726:2012, hal 14

Tabel 2.5 Nilai Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa, Ie
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber : SNI Gempa 1726:2012, hal 15

a. Kategori Desain Gempa

Struktur harus memiliki suatu kategori desain seismik. Kriteria perencanaan kategori desain gempa (*seismic design category*) dan dikalikan dengan kategori hunian.

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
$0,5 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber : SNI Gempa 1726:2012, hal 24

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
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,2 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber : SNI Gempa 1726:2012, hal 25

b. Pemilihan Sistem Struktur dan Parameter Sistem

Berdasarkan SNI 1726:2012 dirumuskan sistem struktur untuk berbagai tingkat resiko, yaitu :

1. Struktur Penahan Beban Seismik

Tabel 2.8 Pemilihan Sistem Struktur Berdasarkan Tingkat Resiko

	Tingkat Resiko Kegempaan		
	Rendah	Sedang	Tinggi
	A,B	C	D,E,F
Sistem Penahan Gempa	SRMB/M/K	SRMM/K	SRMK

Sistem penahan gaya gempa lateral dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe. Pembagian setiap tipe berdasarkan pada elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya gempa lateral. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem sturktur dan batasan ketinggian struktur yang ditujukan dalam koefisien modifikasi respon (R), faktor kuat lebih sistem (Ω_o), dan faktor pembesaran defleksi (C_d).

Tabel 2.9 Faktor R, Cd, dan Ωo Untuk Sistem Penahan Gempa

Sistem Penahan Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons	Faktor Kuat Lebih Sistem	Faktor Pembesaran Defleksi	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, h_n (m)[c]				
				Kategori Desain Seismik				
	R[a]	Ω_0[g]	C_d[b]	B	C	D[d]	E[d]	F[e]
C. Sistem Rangka Pemikul momen								
Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka batang 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

Sumber : SNI Gempa 1726:2012, hal 36

2. Gaya geser dasar gempa dan beban lateral gempa

✓ Geser dasar seismik (V) ditentukan dengan rumus berikut :

$$V = C_s \,.\, W \quad \text{.....} \quad (2.9)$$

✓ Koefisien respon seismik (C_s) ditentukan dengan rumus :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad \text{.....} \quad (2.10)$$

✓ Nilai C_s yang dihitung tidak melebihi :

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \,.\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad \text{.....} \quad (2.11)$$

✓ C_s harus tidak kurang dari :

$$C_s = 0{,}044 \,.S_{DS} \,.I_e \geq 0{,}01 \quad \text{.....} \quad (2.12)$$

3. Penentuan perioda fundamental

Perioda fundamental struktur, T yang ditinjau harus diperoleh menggunakan perhitungan struktur dan deformasi elemen penahan dalam analisis. Periode fundamental struktur, T tidak boleh melebihi hasil dari koefisien untuk batasan atas pada perioda yang dihitung (Cu) dan periode fundamental pendekatan (Ta). Namun jika melebihi Ta analisis diijinkan secara langsung menggunakan periode pendekatan fundamental (Ta).

Penentuan periode fundamental, Ta pendekatan ditentukan berdasarkan :

$$Ta = C_t \cdot h_n^x \quad \text{..... (2.13)}$$

$$Tmaks = Cu \cdot Ta \quad \text{..... (2.14)}$$

Dimana :

hn = ketinggian struktur, dalam meter

Ct, x dan Cu didapat berdasarkan tabel berikut :

Tabel 2.10 Nilai Parameter Perioda Pendekatan Ct dan x

Tipe Struktur	Ct	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegahh rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa :		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	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 : SNI Gempa 1726:2012

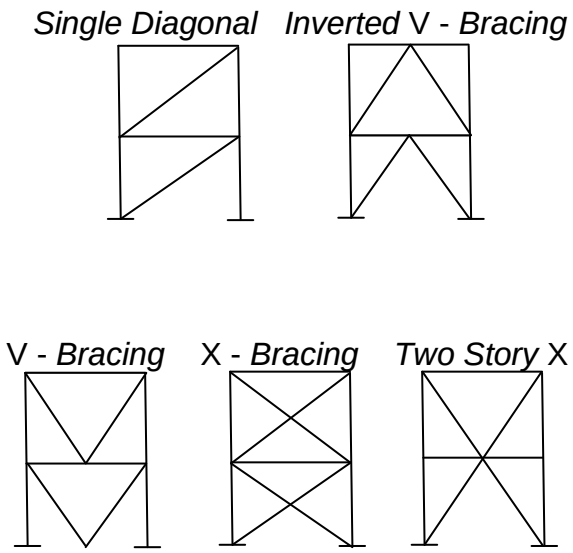
Tabel 2.11 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Perioda Yang Dihitung

Parameter Percepatan Respon Spektral Desain Pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
≥ 0,4	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
≤ 0,1	1,7

Sumber : SNI Gempa 1726:2012

2.5 Struktur *Bracing*

Salah satu diantara cara-cara yang dapat dilakukan oleh perencana dalam menambah efisiensi elemen tekan adalah dengan menggunakan bresing (pengekang). Bresing atau pengaku berfungsi sebagai penahan gaya lateral yang terjadi pada struktur. Adanya bresing memperkecil panjang efektif kolom. Berikut ini adalah macam-macam jenis bracing, yaitu :



Gambar 2.5 Struktur *Bracing*

Sumber : https://www.slideshare.net/DeboraElluisaa/tugas-teknik-gempa-2

Jumlah minimum bresing adalah yang memberikan panjang kolom sama dengan panjang transisi antara kolom pendek dan kolom panjang. Pemberian bracing lebih banyak dari jumlah minimum ini tidak akan mengurangi kebutuhan luas penampang karena ukuran kolom sudah ditentukan oleh tegangan langsung, tidak lagi oleh panjang kolom.

2.6 Elemen Struktur

2.6.1 Kolom

Kolom merupakan elemen vertikal yang sangat banyak digunakan, bahkan dinding pemikul beban itu sebenarnya dipandang sebagai kolom yang diperluas disatu bidang. Kolom tidak selalu harus berarah vertikal. Meskipun suatu elemen struktur bisa berarah miring asalkan memenuhi definisi kolom, yaitu beban (aksial) hanya diberikan di ujung-ujungnya dan tidak ada beban transversal, elemen struktur dapat disebut kolom. Dengan demikian, kolom

tidak mengalami lentur secara langsung (tidak ada beban tegak lurus terhadap sumbunya).

Pada perencanaan kolom struktur bangunan digunakan konstruksi baja. Ukuran profil digunakan berdasarkan ketentuan LRFD dan untuk menganalisis elemen kolom digunakan persamaan sebagai berikut.

✓ Aksi Kolom

a. Rasio Kelangsingan Maksimum

$$\lambda x = \frac{k \,.\, L}{rx} \quad \text{..... (2.15)}$$

$$\lambda y = \frac{k \,.\, L}{ry} \quad \text{..... (2.16)}$$

Dimana :

L = panjang kolom

k = panjang tekuk dilihat dari kondisi perletakan

r_x = jari-jari girasi arah x

r_y = jari-jari girasi arah x

b. Kontrol Penampang Kompak atau Tidak Kompak

Untuk menentukan tahanan lentur rencana dari suatu profil, maka terlebih dahulu harus diperiksa kekompakan dari penampang tersebut. Menurut SNI 1729:2015 memberikan batasan nilai untuk λ_p dan λ_r sebagai berikut yang didapatkan berdasarkan tabel dan untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Lampiran 1** dan **Lampiran 2.**

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \,.\, t_f} \quad \text{..... (2.17)}$$

$$\lambda_p = 0{,}38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{..... (2.18)}$$

$$\lambda = \frac{h}{t_w} < \lambda_p \quad \text{..... (2.19)}$$

$$\lambda p = 3{,}76 \sqrt{\frac{E}{fy}} \quad \text{..... (2.20)}$$

Dimana :

b_f = panjang bentang

t_f = tebal sayap

f_y = tegangan leleh

t_w = tebal badan

h = tinggi bentang

c. Kontrol Terhadap Tekuk Lateral

$$L_p = 1{,}76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{..... (2.21)}$$

$$J = \sum \frac{1}{3} \cdot b \cdot t^3 \quad \text{..... (2.22)}$$

$$r_{ts} = \sqrt{\frac{I_y \cdot h_o}{2 \cdot S_x}} \quad \text{dengan} \quad h_o = d - t_f \quad \text{..... (2.23)}$$

$$L_r = 1{,}95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0{,}7 \cdot f_y} \sqrt{\frac{J \cdot C}{S_x \cdot h_0} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot C}{S_x \cdot h_0}\right)^2 + 6{,}76 \cdot \left(\frac{0{,}7 \cdot f_y}{E}\right)^2}} \quad \text{(2.24)}$$

Apabila $L < L_p$, maka $M_n = M_p$

Apabila $L_p < L < L_r$, maka :

$$M_p = Z_x \cdot f_y \quad \text{..... (2.25)}$$

$$Z_x = b \cdot t_f \, (d - t_f) + \frac{1}{4} \cdot t_w \cdot (d - 2 \cdot t_f)^2 \quad \text{..... (2.26)}$$

$$M_{max} = \frac{1}{2} \cdot q_u \cdot L \quad \text{..... (2.27)}$$

$$M_A = \frac{q_u \cdot L}{2} \cdot \frac{L_b}{4} - \frac{1}{2} \cdot q \cdot \left(\frac{L_b}{4}\right)^2 \quad \text{..... (2.28)}$$

$$M_B = \frac{q_u \cdot L}{2} \cdot \frac{L_b}{2} - \frac{1}{2} \cdot q \cdot \left(\frac{L_b}{2}\right)^2 \quad \text{..... (2.29)}$$

$$M_C = \frac{q_u \cdot L}{2} \cdot 3 \cdot \frac{L_b}{4} - \frac{1}{2} \cdot q \cdot \left(3 \cdot \frac{L_b}{4}\right)^2 \quad \text{..... (2.30)}$$

$$C_b = \text{Min}\left[\frac{12{,}5\,.M_{max}}{2{,}5\,.M_{max} + 3\,.M_A + 4\,.M_B + 3\,.M_C}\,.\text{Rm dan } 3{,}0\right] \quad \text{... (2.31)}$$

Rm bernilai 1,0 untuk simetri ganda dan tunggal, lalu Φ . Mn > Mu

$$M_n = C_b\left[M_p - (M_p - 0{,}7\,.S_x\,.f_y)\,.\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right] \text{dan } M_p \quad \text{..... (2.32)}$$

Dimana :

J = konstanta torsi

E = modulus elastisitas

A_g = luas penampang

S_x = modulus penampang

Z_x = modulus plastis

f_y = tegangan leleh

r_y = jari-jari girasi

L = panjang bentang

M_n = tahanan lentur nominal

M_p = tahanan momen plastis

d. Kontrol Elemen Terhadap Aksi Aksial Momen

Dalam SNI 1729:2015 pasal 11.3 yang menyatakan bahwa suatu komponen struktur yang mengalami momen lentur dan gaya aksial harus direncankan untuk dapat memenuhi ketentuan sebagai berikut :

✓ Untuk

$$\frac{Pr}{Pc} > 0{,}2 \longrightarrow \frac{Pr}{Pc} + \frac{8}{9}\left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right) \leq 1{,}0 \quad \text{..... (2.33)}$$

✓ Untuk

$$\frac{Pr}{Pc} < 0{,}2 \longrightarrow \frac{Pr}{2\,.Pc} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right) < 1{,}0 \quad \text{..... (2.34)}$$

Dengan :

Pr = gaya tekan aksial terfaktor

Φ_c = faktor reduksi tahanan tekan = 0,9

Φ_b = faktor reduksi tahanan lentur = 0,9

N_n = tahanan tekan nominal

Pc = Φc . Pn

M_c = Φb . Mn

2.6.2 Balok

Balok adalah elemen struktur yang menyalurkan beban-beban dari pelat lantai ke penyangga yang vertikal. Balok merupakan elemen struktural yang didesain untuk menahan gaya-gaya yang bekerja secara transversal terhadap sumbunya sehingga mengakibatkan terjadinya momen lentur dan gaya geser sepanjang bentangannya.

Pada perencanaan balok struktur bangunan digunakan konstruksi baja. Ukuran profil digunakan berdasarkan ketentuan LRFD dan untuk menganalisis elemen balok digunakan persamaan sebagai berikut yang dapat dilihat pada **Lampiran 1** dan **Lampiran 2**.

✓ Aksi Balok

a. Kontrol Terhadap Tekuk Lokal Sayap

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \, . t_f} \quad \text{..... (2.35)}$$

$$\lambda_p = 0{,}38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{..... (2.36)}$$

Dimana :

b_f = panjang bentang

t_f = tebal sayap

E = modulus elastisitas

f_y = tegangan leleh

b. Kontrol Terhadap Tekuk Lokal Badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} < \lambda_p \quad \text{..... (2.37)}$$

$$\lambda p = 3{,}76 \sqrt{\frac{E}{fy}} \quad \text{..... (2.38)}$$

Dimana :

t_w = tebal badan

h = tinggi bentang

f_y = tegangan leleh

c. Kontrol Terhadap Tekuk Lateral

$$L_p = 1{,}76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{..... (2.39)}$$

$$J = \sum \frac{1}{3} \cdot b \cdot t^3 \quad \text{..... (2.40)}$$

$$r_{ts} = \sqrt{\frac{I_y \cdot h_o}{2 \cdot S_x}} \quad \text{dengan} \quad h_o = d - t_f \quad \text{..... (2.41)}$$

$$L_r = 1{,}95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0{,}7 \cdot f_y} \sqrt{\frac{J \cdot C}{S_x \cdot h_0} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot C}{S_x \cdot h_0}\right)^2 + 6{,}76 \cdot \left(\frac{0{,}7 \cdot f_y}{E}\right)^2}} \quad \text{(2.42)}$$

Apabila $L < L_p$, maka $M_n = M_p$

Apabila $L_p < L < L_r$, maka :

$$M_p = Z_x \cdot f_y \quad \text{..... (2.43)}$$

$$Z_x = b \cdot t_f (d - t_f) + \frac{1}{4} \cdot t_w \cdot (d - 2 \cdot t_f)^2 \quad \text{..... (2.44)}$$

$$M_{max} = \frac{1}{2} \cdot q_u \cdot L \quad \text{..... (2.45)}$$

$$M_A = \frac{q_u \cdot L}{2} \cdot \frac{L_b}{4} - \frac{1}{2} \cdot q \cdot \left(\frac{L_b}{4}\right)^2 \quad \text{..... (2.46)}$$

$$M_B = \frac{q_u \cdot L}{2} \cdot \frac{L_b}{2} - \frac{1}{2} \cdot q \cdot \left(\frac{L_b}{2}\right)^2 \quad \text{..... (2.47)}$$

$$M_C = \frac{q_u \cdot L}{2} \cdot 3 \cdot \frac{L_b}{4} - \frac{1}{2} \cdot q \cdot \left(3 \cdot \frac{L_b}{4}\right)^2 \quad \text{..... (2.48)}$$

$$C_b = \text{Min}\left[\frac{12{,}5\,.M_{max}}{2{,}5\,.M_{max} + 3\,.M_A + 4\,.M_B + 3\,.M_C}\,.\text{Rm dan } 3{,}0\right] \quad \text{... (2.49)}$$

Rm bernilai 1,0 untuk simetri ganda dan tunggal, lalu Φ . Mn > Mu

$$M_n = C_b\left[M_p - \left(M_p - 0{,}7\,.S_x\,.f_y\right).\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right] \text{dan } M_p \quad \text{..... (2.50)}$$

Dimana :

J = konstanta torsi
E = modulus elastisitas
A_g = luas penampang
S_x = modulus penampang
Z_x = modulus plastis
f_y = tegangan leleh
r_y = jari-jari girasi
L = panjang bentang
M_n = tahanan lentur nominal
M_p = tahanan momen plastis

2.6.3 Pelat Lantai

Pelat merupakan struktur bidang (pemukaan) yang lurus, (datar atau tidak melengkung), yang tebalnya jauh lebih kecil dibanding dengan dimensinya yang lain. Berdasarkan aksi strukturalnya, pelat umumnya dibedakan atas kategori umum berikut :

1. Pelat kaku, yang merupakan pelat tipis yang memiliki ketegaran lentur (*flexural rigidity*), dan memikul beban dengan aksi dua-dimensi, terutama dengan momen dalam (lentur dan puntir) dan gaya geser transversal, yang umumnya sama dengan balok. Pelat yang dimaksud dalam bidang teknik adalah pelat kaku, kecuali jika dinyatakan lain.
2. Membran, yang merupakan pelat tipis tanpa ketegaran lentur dan memikul beban lateral dan gaya geser aksial dan gaya geser pusat. Gaya geser transversal bekerja tegak lurus bidang pelat sedangkan gaya geser pusat bekerja pada bidang pelat. Aksi pemikulan beban seperti ini bisa didekati dengan jaringan kabel yang tegang karena

ketebalannya yang sangat tipis membuat daya tahan momennya diabaikan.

3. Pelat fleksibel, yang merupakan gabungan dari pelat kaku dan membran, dan memikul beban luar dengan gabungan aksi momen dalam, gaya geser transversal dan gaya geser pusat, serta gaya aksial. Pelat seperti ini sering dipakai dalam industri ruang angkasa, karena perbandingan berat dengan bebannya menguntungkan.
4. Pelat tebal, yang kondisi tegangan dalamnya menyerupai kondisi kontinua tiga dimensi.

Jenis-jenis pelat terdiri dari pelat satu arah (*one way slab*) ditumpu oleh anak balok yang ditempatkan sejajar satu dengan yang lainnya, dan perhitungan pelat dapat dianggap sebagai balok tipis yang ditumpu oleh banyak tumpuan. Pelat dua arah (*two way slab)* yaitu pelat yang keempat sisinya ditumpu oleh balok dengan perbandingan lx/ly = 2, perhitungan pelat didasarkan dengan pendekatan dua arah yang tercantum dalam tabel momen pelat dua arah akibat beban terbagi rata.

Modulus Elastisitas yang digunakan untuk pelat lantai diperoleh dengan memperhatikan mutu beton yang digunakan, berikut ini merupakan tabelnya :

Tabel 2.12 Nilai Modulus Elastisitas dan Mutu Beton

Kubus (K) Kg/cm^2	**Silinder (fc') MPa**	**Modulus (E) MPa**
175	15	18203
225	19	20487
275	23	22540
300	25	23500
350	29	25310
400	33	26999

2.7 Pembebanan Struktur

Beban-beban pada struktur bangunan bertingkat, menurut arah bekerjanya dapat dibagi menjadi 2 bagian, yaitu :

1. Beban vertikal / gravitasi

   Beban vertikal atau beban gravitasi terdiri dari beban mati dan beban hidup.

2. Beban horizontal / lateral

Beban horizontal atau beban lateral terdiri dari beban gempa dan beban angin.

Pada perencanaan ini, beban-beban yang diperhitungkan adalah beban mati, beban hidup dan beban gempa.

2.7.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala beban tambahan, finishing, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung tersebut. Beban mati yang diperhitungkan terdiri dari :

a. Berat kolom
b. Berat balok
c. Berat pelat lantai
d. Berat dinding

2.7.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat pemakaian dan penghuni suatu gedung, termasuk beban-beban pelat lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah. Beban hidup pada atap gedung, yang dapat dicapai dan dibebani oleh orang, harus diambil minimum sebesar 100 Kg/m^2 bidang datar. Berikut ini adalah tabel beban hidup terdistribusi merat berdasarkan SNI 1727:2013, yaitu :

Tabel 2.13 Beban Hidup Terdistribusi Merata

Hunian atau Penggunaan	Merata psf (kN/m^2)	Terpusat lb (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses		
Ruang kantor	50 (2,4)	2000 (8,9)
Ruang komputer	100 (4,79)	2000 (8,9)
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18)	
Ruang pertemuan		
Kursi tetap (terikat di lantai)	100 (4,79)	
Lobi	100 (4,79)	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	
Panggung pertemuan	100 (4,79)	

Sumber : SNI Gempa 1726:2013, hal 25

2.7.3 Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statistik ekuivalen yang bekerja pada gedung dan bagian gedung yang menirukan pengaruh dari pergerakan tanah akibat gempa.

2.8 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 4.2.2 kombinasi pembebanan yang digunakan, antara lain :

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr atau S atau R)
3. 1,2D + 1,6 (Lr atau S atau R) + (L atau 0,5W)
4. 1,2D + 1,0W + L + 0,5 (Lr atau S atau R)
5. 1,2D + 1,0E + L + 0,2S
6. 0,9D + 1,0W
7. 0,9D + 1,0E

Keterangan :

D = Beban mati
L = Beban hidup
Lr = Beban hidup atap
S = Beban salju
R = Beban hujan
W = Beban angin
E = Beban gempa