

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Gempa Bumi dan Kaidah Perencanaan Struktur

Gempa bumi ialah guncangan yang secara tiba-tiba yang diakibatkan oleh gelombang seismik yang melewati batuan di dalam Bumi. Gelombang seismik tercipta ketika sejumlah bentuk energi yang terdapat di kerak bumi dilepaskan secara mendadak, umumnya saat massa batuan yang saling tegang mendadak patah dan "tergelincir". Gempa bumi biasanya terjadi di sepanjang patahan geologi, yang merupakan area sempit massa batuan yang bergerak relatif satu sama lain. Letak garis patahan utama dunia di tepi lempeng tektonik besar yang menjadi kerak bumi. Dengan adanya bencana alam seperti gempa bumi sangat menjadi dampak buruk pada teknik sipil dikarenakan dapat menyebabkan kerusakan struktur yang sangat berat pada bangunan, maka dari itu seorang pakar struktur di haruskan agar membuat rancangan sebuah bangunan yang tahan pada gempa bumi. Imran dan Hendrik (2010) memaparkan bahwa kegagalan struktur yang ditimbulkan gempa dikarenakan oleh:

- a) Pengawasan atau pengendalian terlaksananya pembangunan kurang memadai.
- b) Sistem konstruksi yang dipergunakan tidak berdasarkan tingkat risiko daerah setempat pada gempa.
- c) Praktik konstruksi dan kualitas material pada umumnya kurang baik.
- d) Rencana struktur ataupun detail penulangan yang dipergunakan sebenarnya kurang memadai.

Imran dan Hendrik (2010) mengungkapkan bahwa supaya kerusakan struktur bisa dikurangi, maka terdapat prinsip dasar pada perancangan, perencanaan, serta pelaksanaan struktur beton bertulang tahan gempa, yakni:

- a) Sistem struktur yang dipergunakan harus berdasarkan tingkat risiko daerah lokasi struktur gedung pada gempa.
- b) Konsistensi sistem struktur yang diumpamakan pada desain dengan sistem struktur yang dilakukan perlu dijaga.

- c) Aspek integritas dan kontinuitas struktur bangunan harus diperhatikan. Pada sambungan dan penulangan, elemen struktur konstruksi harus dihubungkan secara efektif menjadi satu kesatuan agar memaksimalkan integritas keseluruhan struktur.
- d) Metode penerapan, sistem *quality assurance* dan *quality control* pada langkah konstruksi harus dilakukan secara baik dan berdasarkan kaidah yang ada.
- e) Material baja tulangan dan beton yang dipergunakan harus memenuhi syarat material bangunan untuk struktur gedung tahan gempa.
- f) Elemen arsitektural yang mempunyai massa besar harus terhubung kuat pada sistem portal utama serta perlu dipertimbangkan dampaknya pada sistem struktur.

2.2 Struktur Beton Bertulang

Beton dihasilkan dari campuran bahan agregat kasar dan halus yakni batu pecah, batu, pasir, maupun bahan lain dengan ditambahkan bahan perekat semen dan air, secukupnya yang menjadi bahan pembantu untuk kebutuhan reaksi kimia selama perawatan beton berlangsung dan proses pengerasan (Dipohusodo, I, 1999).

Beton tidak bisa menopang gaya tarik di atas nilai tertentu tanpa keretakan. Sehingga, supaya beton bisa berfungsi dengan baik pada sebuah sistem struktur, maka harus didukung oleh penambahan kekuatan penulangan yang khususnya bertugas menopang gaya tarik yang dihasilkan oleh sistem (Dipohusodo, I, 1999)

Mc Cormac (2004) mengungkapkan bahwa terdapat sejumlah keunggulan dari beton sebagai struktur bangunan yakni:

- a) Beton mempunyai kekuatan tekan lebih tinggi dibanding kebanyakan bahan lain;
- b) Beton umumnya sebagai satu-satunya bahan yang paling murah untuk tiang tumpuan jembatan, pondasi telapak, atau dinding basement;
- c) Salah karakteristik beton yaitu potensinya agar pencetakan menjadi bentuk yang bervariasi, mulai dari balok, pelat, kolom sederhana hingga atap kubah atau cangkang besar;

- d) Beton bertulang sangat tahan api dan air, serta juga sebagai bahan struktur paling baik untuk bangunan yang terkena air dalam jumlah besar. Jika terjadi kebakaran dengan kekuatan sedang, elemen struktur dengan penutup beton yang ketebalannya memadai yang menjadi pelindung tulangan hanya akan rusak di permukaan tanpa runtuh.
- e) Di beberapa daerah, beton berasal dari bahan lokal yang murah (kerikil, pasir, atau air) serta relatif hanya memerlukan semen yang sedikit serta tulangan baja, yang mungkin harus didapat dari daerah lain;
- f) Beton bertulang tidak membutuhkan dana perawatan yang tinggi.

Mc Cormac (2004), menyebutkan kelemahan dari pemakaian beton sebagai bahan struktur yakni:

- a) Beton bertulang membutuhkan bekisting guna menahan beton tetap diposisinya hingga beton mengeras;
- b) Beton kuat tariknya yang rendah, maka membutuhkan pemanfaatan tulangan tarik;
- c) Bila tahanan tiap satuan volume beton rendah, maka dimensi beton relatif besar. Ini merupakan pertimbangan penting untuk bangunan tinggi dan struktur berbentuk panjang;
- d) Semakin rendah tahanan per satuan volume beton, semakin berat beton bertulang tersebut. Ini mempunyai pengaruh besar pada struktur bentang panjang yang mana berat beban mati beton mempunyai pengaruh besar pada momen lentur;
- e) Sifat beton sangat bermacam sebab rasio pencampuran dan pengadukannya yang berbeda. Selanjutnya, penuangan dan pengerasan beton tidak dapat diatasi persis seperti dalam produksi bahan lain seperti kayu lapis dan baja.

Syarat dalam campuran beton sesuai dengan falsafah bahwa beton harusnya mempunyai ketahanan maupun durabilitas yang sesuai. Adapun berdasarkan SNI – 2847 – 2019 batasan nilai dan selimut beton disajikan pada **Tabel 2.1** dan **Tabel 2.2**.

Tabel 2.1 Batasan nilai f'_c

Kegunaan	Jenis beton	Nilai f'_c	Nilai f'_c
		minimum (MPa)	maksimum (MPa)
Umum	Berat normal dan berat ringan	17	Tidak ada batasan
	Sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding struktural khusus	21	Tidak ada batasan
	Berat ringan	21	35 ^[1]

(Sumber : SNI – 2847 – 2019)

Tabel 2.2 Batasan tebal selimut beton

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

(Sumber : SNI – 2847 – 2019)

2.3 Kolom Beton Bertulang

Kolom yaitu bagian rangka struktur yang sebagai batang tekan vertikal untuk menopang beban balok atau elemen struktur lainnya di atasnya (Nobel, 2012). Karena kolom merupakan elemen tekan, maka penurunan progresif tanah yang bersangkutan dan kemungkinan keruntuhan total ultimit struktur bisa dikaitkan dengan kerusakan kolom pada titik kritis.

Definisi kolom menurut SK SNI T-15-1991-03 terkait Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung yaitu bagian struktur bangunan yang mempunyai tugas utama menahan beban aksial tekan vertikal dengan sedikit ketinggian yang tidak didukung, setidaknya 3 kali ukuran sisi yang lebih kecil. Sementara, elemen struktur yang menopang beban aksial tegak dengan rasio dimensi tinggi dan dimensi lateral paling kecil di bawah 3 disebut pedestal.

2.3.1 Fungsi Kolom

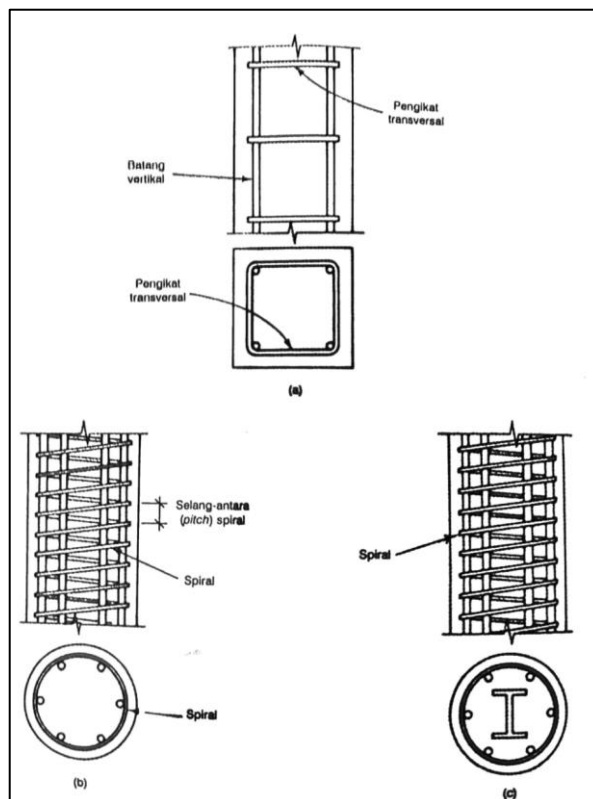
Kolom telah menjadi dasar dalam desain struktur suatu bangunan yang peranannya sangat penting dalam konstruksi, maka fungsinya sebagai penyangga balok penyusun struktur bangunan tersebut. Kolom bertujuan untuk mendistribusikan upaya yang dilakukan oleh beban ke fondasi. Dalam proses yang berkaitan dengan bangunan beton maupun baja, kolom konstruksi tentunya merupakan bagian yang paling umum ada disemua proyek struktural karena pentingnya dalam menopang rantai properti.

Kolom perlu dipertimbangkan untuk menahan beban aksial desak dengan eksentrisitas tertentu dikarenakan dalam kenyataannya kolom bukan hanya bertugas menopang beban aksial vertikal namun juga bertugas menopang momen lentur. Memberi cadangan kekuatan yang lebih besar dibanding komponen struktur lain harus diperhitungkan secara cermat dalam merencanakan struktur kolom sehingga biasanya keruntuhan maupun kegagalan elemen desak yang tidak ditandai dengan peringatan yang jelas serta sifatnya tiba-tiba ini tidak menyebabkan gagalnya kolom akan berdampak langsung pada keruntuhan elemen struktur lainnya yang berkaitan pada kolom (*Struktur Beton*, n.d.).

2.3.2 Tipe – Tipe Kolom

Dalam buku beton bertulang edisi kelima jilid satu (Edward G.Nawy dkk, 2010) kolom bisa dikelompokkan dengan berdasar pada beban pada irisan-penampang, bentuk dan susunan tulangan, panjang kolom pada hubungan dengan dimensi lateralnya. Susunan dan bentuk tulangan mengidentifikasi tiga tipe kolom, seperti ditunjukkan dalam **Gambar 2.1**:

- a) Kolom-kolom komposit dimana bentuk struktural baja dilingkupi pada beton. Bentuk structural tersebut bisa diposisikan dalam rangka tulangan.
- b) Kolom-kolom bujursangkar yang ditulangi dengan batang longitudinal ataupun pengikat lateral.
- c) Kolom-kolom bulat yang ditulangi dengan tulangan spiral dan tulangan longitudinal, maupun pengikat lateral.



Gambar 2.1 Tipe kolom berdasarkan pada bentuk dan tipe tulangan:

(a) kolom terikat; (b) kolom spiral; (c) kolom komposit.

(Sumber : Edward G.Nawy dkk, 2010)

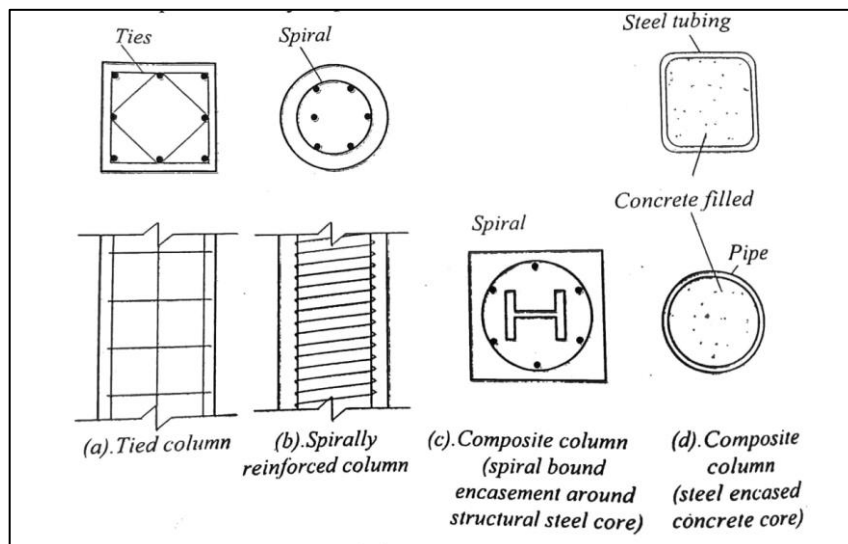
2.3.3 Kolom Miring

Kolom miring merupakan kolom dari rangka struktur tidak sejajar atau bersudut siku-siku, artinya miring atau diputar pada suatu sudut kemiringan yang menahan beban dari pelat dan balok. Penggunaan kolom miring dalam beberapa kasus, arsitek berupaya menjadikan kolom miring untuk menambah nilai estetika pada gedung sehingga ini merupakan daya tarik dari pengunjung. Bila ditinjau dari kelangsingannya, kolom dikelompokkan menjadi 2 jenis, yaitu :

- a) *Short reinforced concrete column* (Kolom pendek),
- b) *Slender reinforced concrete column* (Kolom langsing).

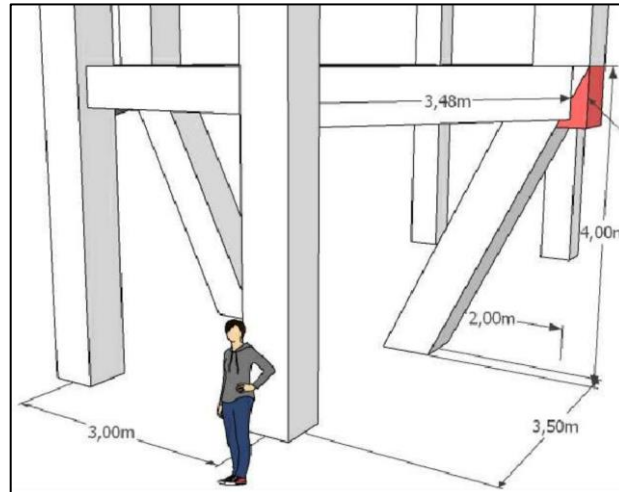
Dalam jenis keruntuhannya, kolom pendek tergolong dalam keruntuhan material, sedangkan kolom langsing tergolong dalam keruntuhan tekuk. Hal ini menjadi dasar perbedaan dari kolom pendek dan kolom langsing. Bila ditinjau dari tipe penulangannya, kolom dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

- a) *Spirally reinforced column* (Kolom tulangan spiral),
- b) *Tied column* (Kolom dengan sengkang ikat),
- c) *Composite column* (Kolom komposit).



Gambar 2.2 Jenis kolom berdasarkan tipe penulangan

(Sumber : Lesmana, 2019)

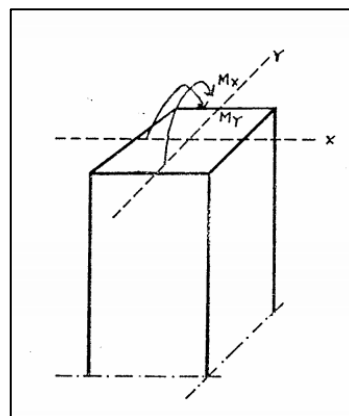


Gambar 2.3 Animasi kolom miring pada gedung

(Sumber : AMKA-LTM, KSO)

2.3.4 Kolom Biaksial

Pada struktur yang terletak di daerah gempa sedang sampai berat, setiap kolom menerima beban lateral akibat angin atau gempa, sehingga kolom menerima dua momen dan beban aksial, yakni momen dalam arah x dan y , dalam kasus ini terjadilah yang namanya kolom biaksial (Budur, K., Suwardja., A, 1994). Pada pusat berat penampang elemen, momen biaksial memiliki dua buah momen yang masing – masing mempunyai arah sumbu tegak lurus yang berpotongan. Kolom biaksial jika diberi titik berat penampang elemen sistem sumbu koordinat x , y dan z . Maka kolom menerima dua buah momen arah sumbu x dan y disertai beban aksial tekan sejajar dengan sumbu z bisa dilihat pada **Gambar 2.4**.



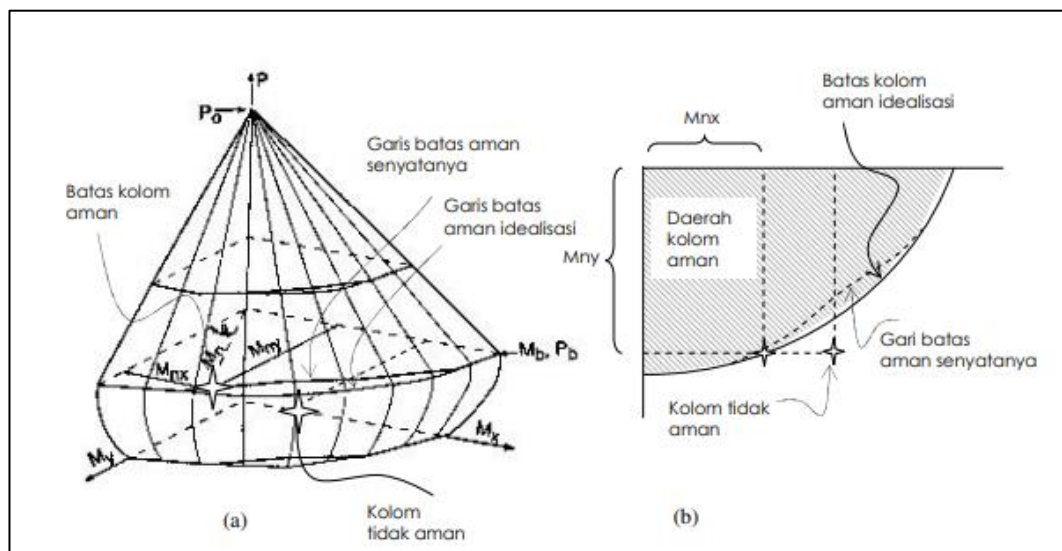
Gambar 2.4 Kolom yang menerima momen biaksial

(Sumber : Budur & Suwardja, 1994)

Menurut Budur & Suwardja (1994) terjadinya momen biaksial pada umumnya diakibatkan oleh faktor – faktor yang mempengaruhi kolom yaitu:

- Pada kolom luar dan dalam mengakibatkan beban lantai yang tidak seimbang.
- Pada bangunan gedung/industri mengakibatkan beban eksentris.
- Pada beban angin atau gempa mengakibatkan beban lateral.

Contoh, jika sebuah kolom adalah uniaksial di salah satu arah x , kolom tersebut berada dalam maupun luar garis aman maka secara biaksial dipastikan kolom tersebut tidak aman, meskipun kearah sumbu y kolom tersebut aman. Serta, meskipun dari kedua arahnya secara uniaksial kolom tersebut aman, maka secara biaksial belum tentu aman, lihat pada **Gambar 2.5**. Tetapi apabila kolom struktur secara biaksial aman maka dipastikan secara uniaksial aman, tetapi tidak sebaliknya.

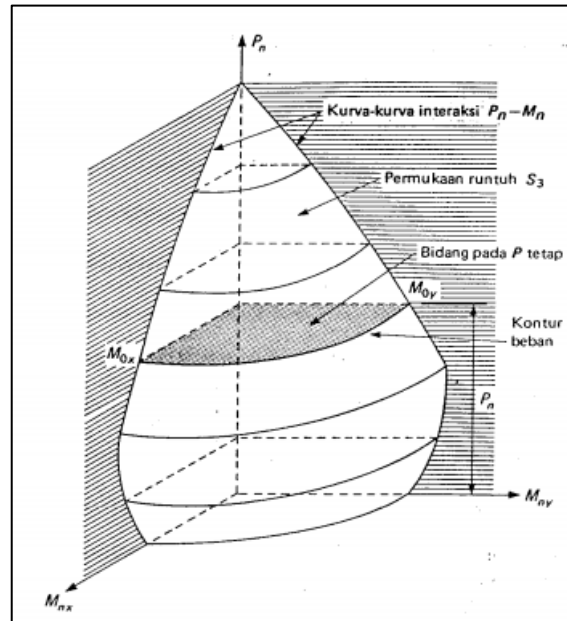


Gambar 2.5 Diagram interaksi kolom biaksial dan garis batas aman

(Sumber : Dhany, 2014)

Selain itu, upaya sedang dilakukan untuk mendapatkan hasil yang memenuhi persyaratan dengan proses perhitungan yang mudah dilakukan. Perkembangan teknologi komputer telah memungkinkan untuk melakukan analisis kolom biaksial dengan presisi dan akurasi yang lebih tinggi. Ada metode

pendekatan kolom biaksial yang dapat dilakukan analisis secara manual yang diusulkan oleh beberapa ahli yaitu dengan metode Bresler. Metoda Bresler dapat disebut juga dengan metoda kontur beban yang pada grafik kontur beban melibatkan potongan permukaan $P_u - M_{ux} - M_{uy}$ dengan nilai P_n konstan, seperti yang terlihat pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7. Grafik kontur beban

(Sumber : Budur & Suwardja, 1994)

Untuk kontur beban pada P_u yang konstan terdapat persamaan *non-dimensional*, dinyatakan dalam bentuk:

$$\left(\frac{M_{ux}}{M_{ox}}\right)^{\alpha_1} + \left(\frac{M_{uy}}{M_{oy}}\right)^{\alpha_2} \leq 1 \quad (2.1)$$

dimana:

$$M_{ux} = P_n e_x$$

$$M_{uy} = P_n e_y$$

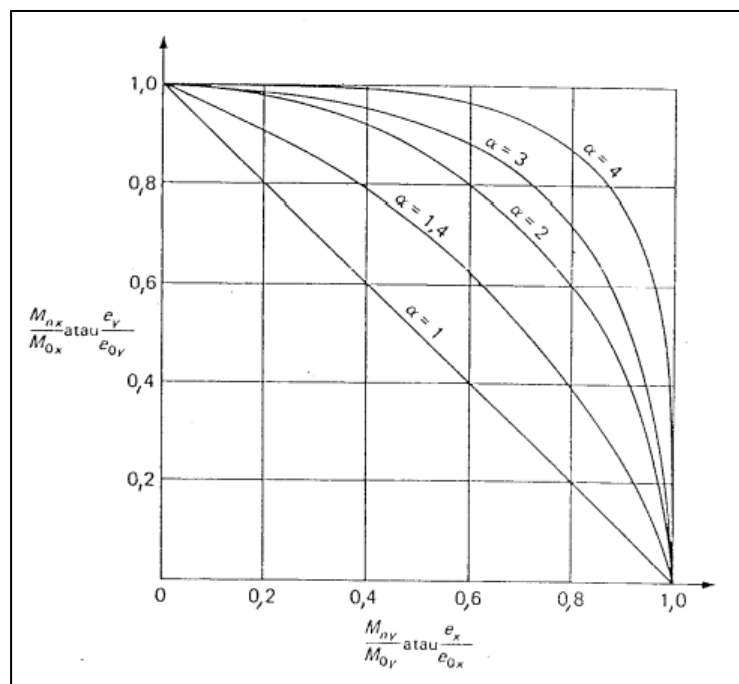
$$M_{ox} = M_{ux} \text{ pada suatu beban aksial } P_n \text{ dimana } M_{uy} \text{ atau } e_y = 0$$

$$M_{oy} = M_{uy} \text{ pada suatu beban aksial } P_n \text{ dimana } M_{ux} \text{ atau } e_x = 0$$

α_1, α_2 = eksponen yang tergantung pada dimensi penampang kolom, presentasi tulangan, penempatan tulangan dan tegangan f'_c dan f_y .

Menurut Bresler, $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ dapat dibenarkan, dan menghasilkan grafik pada **Gambar 2.8.** dan persamaan (2.7) dapat disederhanakan sebagai berikut:

$$\left(\frac{M_{ux}}{M_{ox}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{uy}}{M_{oy}}\right)^\alpha \leq 1 \quad (2.2)$$



Gambar 2.8. Kurva interaksi

(Sumber : Budur & Suwardja, 1994)

Adapun cara lain dalam menentukan kolom biaksial yang dilakukan dengan membandingkan kemampuan gaya aksial ultimit dan gaya aksial terfaktornya sebagai berikut:

$$\frac{1}{P_n} = \frac{1}{P_{ux}} + \frac{1}{P_{uy}} + \frac{1}{P_{no}} \quad (2.3)$$

dimana:

P_n = beban aksial ultimit,

- P_{ux} = beban aksial nominal pada eksentrisitas e_x ,
 P_{uy} = beban aksial nominal pada eksentrisitas e_y ,
 P_{no} = beban aksial nominal.

Menghitung P_{no} :

$$P_{no} = (0,85f'_c(bh - A_s)) + A_s \times f_y \quad (2.4)$$

Asumsi kolom ini yaitu runtuh tekan, maka harus $Pn_x > Pb_x$ & $Pn_x > Pb_y$.

Menghitung Pb_x & Pb_y :

$$P_b = C_c + C_s - T \quad (2.5)$$

$$C_c = 0,85f'_c(bh - A_s) \quad (2.6)$$

$$C_s = A'_s(f_y - 0,85f'_c) \quad (2.7)$$

$$T = A_s f_y \quad (2.8)$$

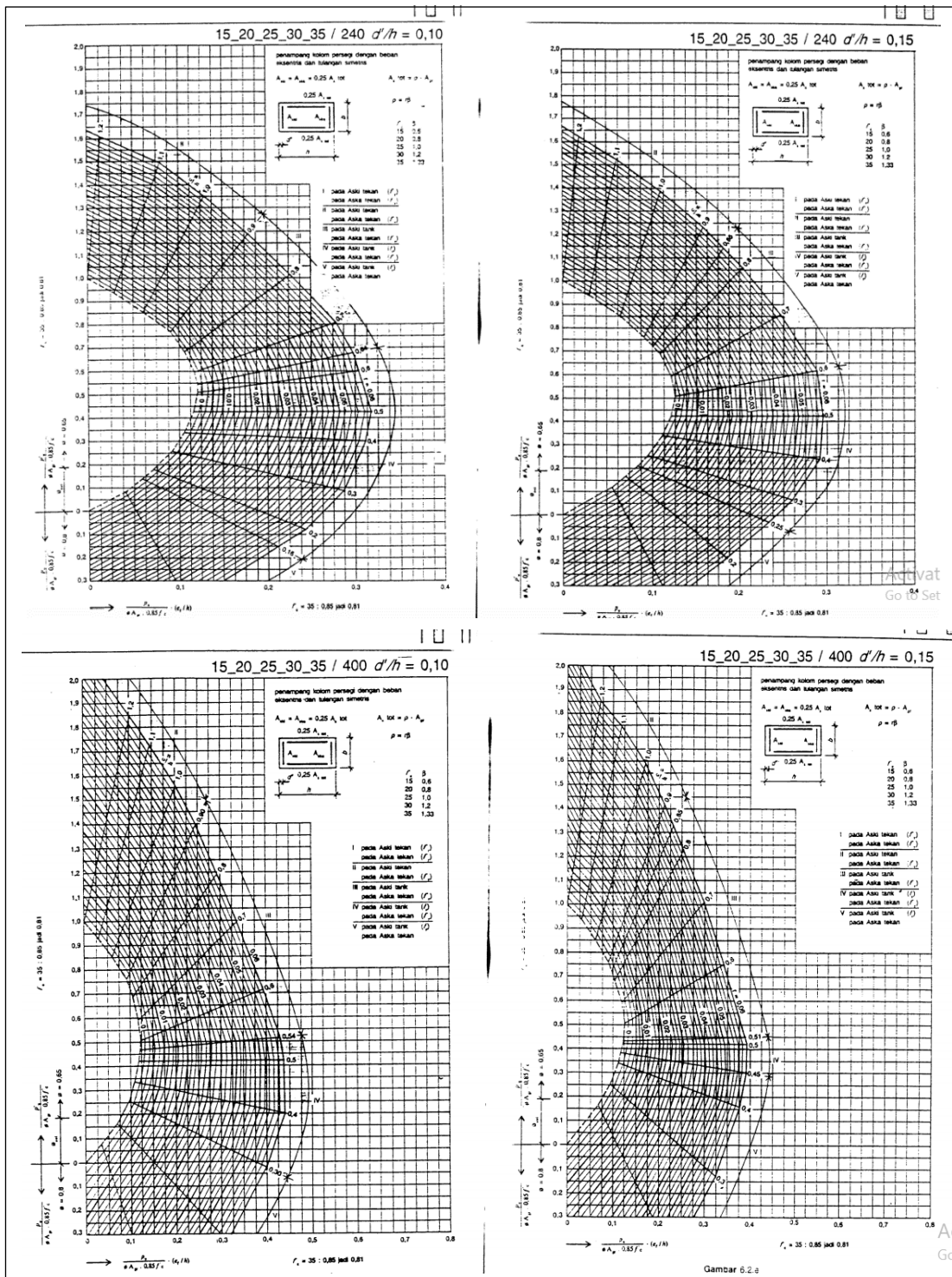
Adapun rumus Pn_x & Pn_y (Kamaludin, 2017) sebagai berikut:

Menghitung Pn_x :

$$Pn_x = \frac{b \times h \times f'_c}{\frac{3 \times h \times e_y}{d^2} + 1,18} + \frac{A_s f_y}{\frac{e_y}{d \times d'} + 0,50} \quad (2.9)$$

Menghitung Pn_y :

$$Pn_x = \frac{b \times h \times f'_c}{\frac{3 \times h \times e_x}{(b-d')^2} + 1,18} + \frac{A_s f_y}{\frac{e_x}{(b-2d)} + 0,50} \quad (2.10)$$



Gambar 2.9 Diagram interaksi P – M untuk kolom

(Sumber : Vis & Gideon, 1993)

2.3.5 Pengaruh Kelangsingan Kolom

Pengaruh kelangsingan kolom harus diperhitungkan dalam mendesain elemen struktur yang mengalami tekan, desain kolom pada dasarnya melibatkan pemilihan penampang dan penulangan yang tepat sehingga kolom kuat memikul kombinasi beban terfaktor yang berupa aksial tekan dan momen (momen primer), selain itu kolom juga harus mampu memikul yang diakibatkan lendutan karena faktor kelangsingan (momen sekunder) (Lesmana, 2019). Kelangsingan kolom dinyatakan sebagai rasio kelangsingan:

$$\lambda = \frac{k \cdot l_u}{r} \quad (2.11)$$

dimana:

- k = Faktor panjang efektif yang besarnya tergantung kekangan-kekangan rotasional dan lateral ujung-ujungnya.
- l_u = Panjang kolom yang tak terkekang (mm).
- r = Jari-jari girasi penampang (mm).

Berdasar SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.2.5.1; Hal-92, besaran jari-jari girasi sebesar 0,3 kali dimensi secara menyeluruh pada arah stabilitas yang diamati untuk kolom persegi atau untuk kolom bundar 0,25 kali diameter yang ditinjau dan atau dapat dihitung sebagai berikut:

$$r = \sqrt{\frac{I_g}{A_g}} \quad (2.12)$$

Berdasarkan pengaruh kelangsingan dan pembesaran momen yang terjadi, kolom dikelompokkan menjadi dua yaitu kolom bergoyang dan kolom tak bergoyang. Adapun pembahasan lebih detailnya pada **Subbab 2.3.5.1** dan **Subbab 2.3.5.2** adalah sebagai berikut:

2.3.5.1 Kolom Bergoyang (*Sway*)

Untuk kolom bergoyang, pengaruh kelangsingan bisa diabaikan memenuhi persyaratan yang diatur dalam SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.2.5; Persamaan (6.2.5a); Hal-91, yaitu:

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 22 \quad (2.13)$$

Metode pembesaran momen untuk kolom bergoyang diatur dalam SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.6.4.7; Hal-110, yaitu:

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \quad (2.14)$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \quad (2.15)$$

dimana:

M_2 = Momen ujung terbesar pada elemen struktur tekan (Nmm).

M_1 = Momen ujung terkecil di elemen struktur tekan (Nmm).

M_{1ns} = Momen ujung terfaktor di ujung dimana M_1 bekerja, karena beban yang menyebabkan guncangan samping tidak besar (Nmm).

M_{1s} = Momen ujung terfaktor di ujung dimana M_1 bekerja, karena beban yang menyebabkan goyangan samping lumayan besar (Nmm).

M_{2s} = Momen ujung terfaktor di ujung dimana M_2 bekerja, karena beban yang menyebabkan goyangan samping lumayan besar (Nmm).

M_{2ns} = Momen ujung terfaktor di ujung dimana M_2 bekerja, karena beban yang menyebabkan guncangan samping tidak besar (Nmm).

δ_s = Faktor momen yang dibesarkan untuk rangka bergoyang.

Besaran nilai δ_s diatur dalam SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.6.4.6.2; Hal-110, yaitu:

$$\delta_s = \frac{1}{1-Q} \geq 1,0 \quad (2.16)$$

atau

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \sum P_c}} \geq 1,0 \quad (2.17)$$

atau berdasarkan analisis orde kedua. Paramater yang terdapat pada persamaan (2.22) dan (2.23) sebagai berikut:

a) Indeks stabilitas (Q); sesuai SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.6.4.4.1; Hal-106.

$$Q = \frac{\sum P_u \Delta_0}{V_{us} l_c} \quad (2.18)$$

dimana:

$\sum P_u$ = Beban vertikal total (N).

Δ_0 = Simpangan relatif antar tingkat orde pertama di tingkat yang ditinjau karena V_{us} .

l_c = Panjang komponen tekan, diukur dari pusat ke pusat *joint*.

V_{us} = gaya geser lantai total di tingkat yang diawasi.

b) Beban tekuk kritis (P_c); sesuai SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.6.4.4.1; Hal-107.

$$P_c = \frac{\pi^2(EI)_{eff}}{(kl_u)^2} \quad (2.19)$$

Nilai dari $(EI)_{eff}$ ditentukan berdasar SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.6.4.4.4; Hal-107. Nilai $(EI)_{eff}$ harus dihitung berdasarkan salah satu persamaan berikut ini:

$$(EI)_{eff} = \frac{0,4E_c I_g}{1+\beta_{dns}} \quad (2.20)$$

$$(EI)_{eff} = \frac{0,2E_c I_g + E_s I_{se}}{1+\beta_{dns}} \quad (2.21)$$

$$(EI)_{eff} = \frac{E_c I}{1+\beta_{dns}} \quad (2.22)$$

2.3.5.2 Kolom tak Bergoyang (*Non-Sway*)

Untuk kolom tak bergoyang, pengaruh kelangsingan bisa diabaikan bila memenuhi persyaratan yang diatur dalam SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.2.5; Persamaan (6.2.5b); Hal-91, yaitu:

$$\frac{k.l_u}{r} \leq 34 + 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \quad (2.23)$$

dan

$$\frac{k.l_u}{r} \leq 40 \quad (2.24)$$

Pada persamaan (2.29), bernilai M_1/M_2 negatif bila lendutan yang terjadi pada kolom tergolong lendutan tunggal. Dan bernilai positif bila tergolong lendutan ganda.

Metode pembesaran momen untuk kolom tak bergoyang diatur dalam SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.6.4.5; Hal-108, yaitu:

$$M_c \leq \delta M_2 \quad (2.25)$$

dimana:

δ = Faktor pembesar momen dalam menggambarkan pengaruh kurvatur komponen struktur antara ujung unsur struktur tekan.

M_c = Momen terfaktor order pertama M_2 yang dibesarkan untuk pengaruh kurvatur unsur struktur (Nmm).

Berdasar SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.6.4.5.4; Hal-109, Nilai M_2 pada persamaan (2.22) tidak boleh kurang dari $M_{2,min}$:

$$M_{2,min} \leq P_u(15 + 0,03h) \quad (2.26)$$

Nilai δ dihitung berdasarkan SNI – 2847 – 2019, Pasal 6 6.4.5.2; Hal-108, yaitu:

$$\delta_s = \frac{C_m}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \sum P_c}} \geq 1,0 \quad (2.27)$$

dimana:

P_u = Gaya aksial terfaktor, digunakan sebagai negatif untuk tarik (N) atau positif untuk tekan.

C_m = Faktor yang menjadi penghubung diagram momen aktual ke diagram momen seragam ekuivalen.

P_c = Beban tekuk kritis, sesuai persamaan (2.25)

Besaran nilai C_m ditentukan berdasarkan SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.6.4.5.3; Hal-109. Adapun ketentuannya adalah sebagai berikut:

a) Untuk kolom tanpa beban transversal yang bekerja diantara tumpuannya:

$$C_m = 0,6 - 0,4 \frac{M_1}{M_2} \quad (2.28)$$

Pada persamaan (2.34), bernilai M_1/M_2 negatif bila lendutan yang terjadi pada kolom tergolong lendutan tunggal. Dan bernilai positif bila tergolong lendutan ganda.

b) Untuk kolom dengan beban transversal yang bekerja diantara tumpuannya:

$$C_m = 1,0 \quad (2.29)$$

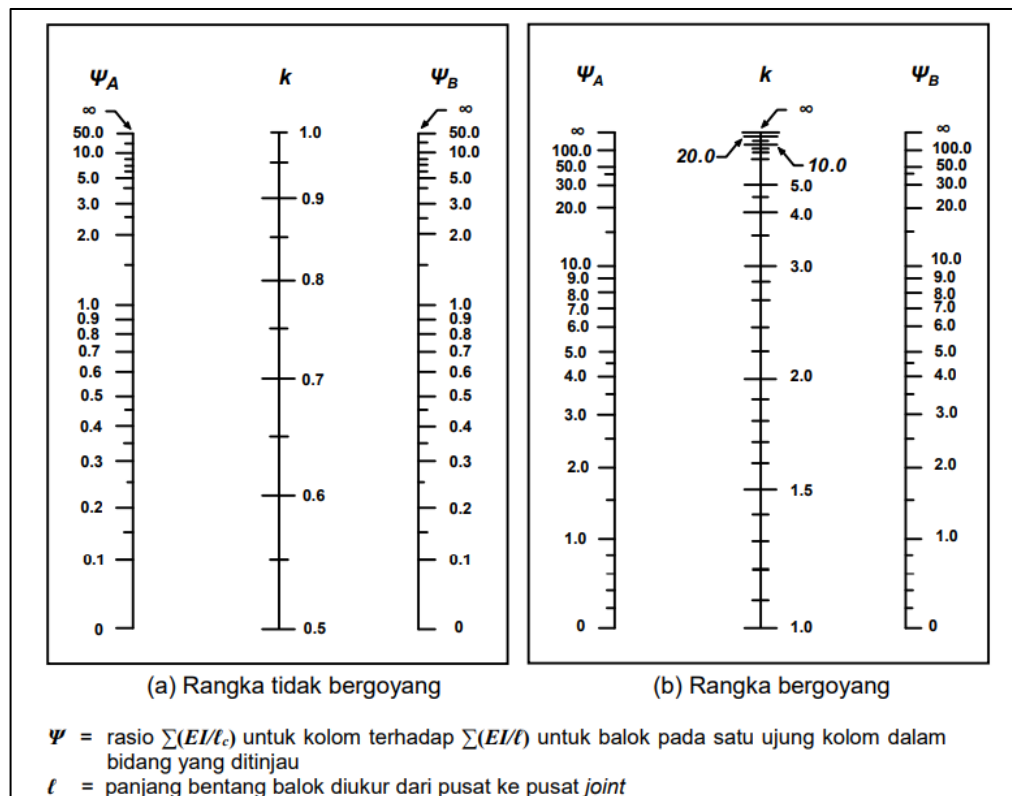
Bila $M_{2,min} > M_2$ maka nilai $C_m = 1,0$

Setelah memperoleh nilai momen dari orde kedua, ada syarat yang perlu dipastikan yaitu berdasarkan SNI – 2847 – 2019; Pasal 6.2.6; Hal-94, yaitu:

$$M_{u,orde2} \leq 1,4M_{u,orde2} \quad (2.30)$$

Sedangkan dalam menentukan besaran k , akan digunakan alat bantu desain primer yang dikenal dengan istilah *Jackson & Moreland Alignment Chart* pada **Gambar 2.10**, dan rumus perbandingan antara elemen struktur tekan dan elemen struktur lentur di salah satu ujung unsur struktur tekan pada bidang rangka yang dihitung yakni:

$$\Psi = \frac{\sum\left(\frac{EI}{l}\right)_{Kolom}}{\sum\left(\frac{EI}{l}\right)_{Balok}} \quad (2.31)$$



Gambar 2.10 Jackson & moreland alignment chart.

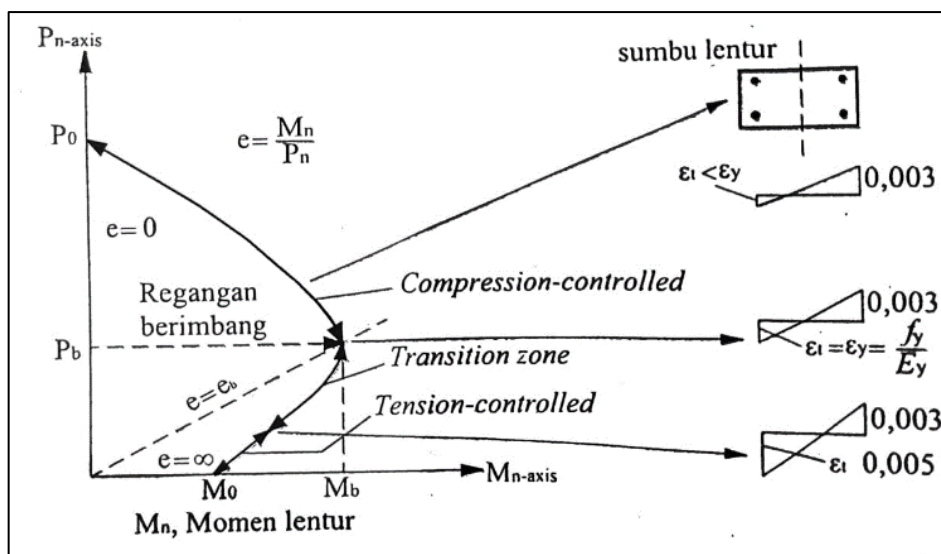
(Sumber : SNI – 2847 – 2019)

2.3.7 Diagram Interaksi Kekuatan Elemen Kolom

Diagram interaksi kolom adalah diagram antara momen lentur dan beban aksial yang menyatakan hubungan kombinasi antara kedua hal tersebut. Kolom

merupakan unsur struktur yang menerima kombinasi beban yang berupa aksial tekan dan momen. Dari interaksi dua parameter tersebut (P & M), terdapat sejumlah kombinasi kekuatan yang tak terhitung jumlahnya. Interaksi dari aksial tekan (P) dan momen (M) diwujudkan dalam sebuah kurva yang dikenal sebagai diagram interaksi $P-M$. daya tampung penampang beton bertulang dalam menopang beban-beban lentur dan aksial terkombinasi bisa dinyatakan dengan diagram interaksi $P-M$ untuk menghubungkan beban aksial dengan momen lentur pada anggota tekan.

Suatu gabungan kekuatan momen nominal M_n dan kekuatan beban nominal P_n yang berkaitan dengan lokasi sumbu-netral tertentu mewakili setiap titik pada kurva. Pada kondisi seimbang dalam diagram interaksi tersebut dipisahkan menjadi daerah kontrol tekan dan daerah kontrol tarik. Berdasarkan rasio P & M , diagram interaksi tersebut terbagi menjadi dua kondisi, yaitu: *compression* dan *tension*. Pada kondisi *compression* (tekan), hampir seluruh/sebagian penampang kolom mencapai regangan maksimum tekan sebesar $\epsilon_c = 0,003$, sebelum tulangan baja mengalami leleh $\epsilon_y = f_s/E_s$. Sedangkan dalam kondisi *tension* (tarik), hampir seluruh tulangan kolom melampaui regangan lelehnya (ϵ_y) dan disaat bersamaan pula, material kolom mencapai regangan tekannya ($\epsilon_c = 0,003$). Diantara dua kondisi tersebut terdapat kondisi yang berimbang antara P dan M yang dikenal dengan istilah kondisi regangan berimbang (*balanced strain condition*).



Gambar 2.11 Diagram interaksi kolom

(Sumber : Lesmana, 2019)

2.3.8 Pendetailan Tulangan Kolom

Pendetailan tulangan kolom menurut berdasarkan Peraturan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, SNI – 2847 – 2019 untuk tulangan longitudinal kolom prategang dan kolom nonprategang dengan skor rata-rata $f_{pe} < 1,6$ MPa, total terendah tulangan longitudinal yaitu 4 pada sengkang ikat segi empat maupun lingkaran, 3 dalam sengkang ikat segitiga, serta untuk kolom di sistem pemikul momen khusus pada sengkang spilar melingkar ada 6 pada sengkang spiral. Perlu perlu dipastikan bahwa jarak bersih antar tulangan memenuhi syarat SNI – 2847 – 2019; Pasal 25.2.3; Hal-560. Pada pasal tersebut diatur bahwa jarak bersih antar tulangan harus tidak di bawah nilai maksimal dari:

$$s \geq 40 \text{ mm} \quad (2.32)$$

atau

$$s \geq 1,5d_b \quad (2.33)$$

Berikut perhitungan jarak bersih antar tulangan:

$$s = \frac{b - (2 \times t_s) - (2 \times \phi_s) - (n \times D)}{(n-1)} \quad (2.34)$$

2.3.9 Desain Geser Pada Kolom

Hal yang menjadi perbedaan dalam konsep desain geser pada kolom ialah besaran nilai kuat geser yang berasal dari material beton yaitu V_c (Lesmana, 2019). Elemen kolom merupakan elemen struktur yang memikul beban kombinasi aksial tekan dan momen lentur sehingga besaran V_c nya akan berbeda dibanding elemen balok yang didominasi momen lentur. Berdasarkan SNI – 2847 – 2019; Pasal 2 Hal-486, persamaan V_c untuk elemen kolom adalah

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_2 d \quad (2.35)$$

dimana:

N_u = Gaya aksial terfaktor (N).

A_g = Luasan penampang kolom (mm^2).

$$\begin{aligned}\lambda &= 1,0 \text{ (beton normal)} \\ d &= 0,8h \text{ (mm)}.\end{aligned}$$

Namun bila ingin memperoleh nilai V_c yang lebih detail, maka bisa mengacu SNI – 2847 – 2019: Pasal 22.5.6.1; Tabel 22.5.6.1; Hal-486. Terdapat dua persamaan yang nilainya diambil nilai terkecil dari dua persamaan berikut:

$$V_c = \left[0,16\lambda\sqrt{f'_c} + 17\rho_w \frac{V_u d}{M_u - N_u \frac{(4h-d)}{8}} \right] b_w d \quad (2.36)$$

Persamaan (2.34) tidak perlu digunakan bila $M_u - N_u \frac{(4h-d)}{8} \leq 0$

$$V_c = 0,29\lambda\sqrt{f'_c} b_w d \sqrt{1 + \frac{0,29N_u}{A_g}} \quad (2.37)$$

dimana:

$$\begin{aligned}N_u &= \text{Gaya aksial terfaktor (N).} \\ V_u &= \text{Gaya geser terfaktor (N).} \\ M_u &= \text{Momen terfaktor (Nmm).} \\ \rho_w &= \text{Rasio } A_s \text{ terhadap } b_w d.\end{aligned}$$

Syarat Kemampuan Penampang dalam menerima beban geser perlu diperiksa kemampuan penampang kolom miring. Untuk nilai V_u akan diambil yang terbesar yaitu:

$$V_u \leq \phi (V_c + 0,66 \times \sqrt{f'_c} b_w d) \quad (2.38)$$

Tabel 2.3 Faktor reduksi kekuatan ϕ

Gaya atau elemen struktur		ϕ
a)	Momen, gaya aksial atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65 - 0,90
b)	Geser	0,75
c)	Torsi	0,75
d)	Tumpu (<i>bearing</i>)	0,65
e)	Zona angkur pascatarik (<i>post-tension</i>)	0,85
f)	<i>Bracket</i> dan korbekel	0,75
g)	<i>Strut-and-tie</i>	0,75
h)	Beton polos	0,6

(Sumber : SNI – 2847 – 2019)

Penentuan jarak tulangan geser menurut SNI – 2847 – 2019 yang mana seluruh komponen struktur beton bertulang harus disediakan tulangan geser dengan A_v minimum dengan persamaan:

$$A_{vmin} = \frac{b \times s}{3f_y} \quad (2.39)$$

Batas minimum penentuan jarak tulangan geser adalah:

$$S_{min} \geq \frac{4}{3}d_{agg} \quad (2.40)$$

Untuk jarak maksimal tidak melebihi $16d_b$ (*sengkang*) atau $48d_b$ (*longitudinal*).

$$S_{max} = 16d_b \quad (2.41)$$

atau

$$S_{max} = 48d_b \quad (2.42)$$

2.4 Pembebanan

Beban yang diperhitungkan dalam proyek pembangunan gedung biasanya meliputi beban lateral dan gravitasi. Beban yang merupakan beban gravitasi yaitu dead load), beban mati tambahan (*superimposed dead load*), dan beban hidup (*live load*). Sementara yang merupakan beban lateral ialah beban gempa (*earthquake*)

dan *wind load*. Namun untuk beban angin pada analisis struktur tidak diperhitungkan atau diabaikan.

2.4.1 Beban Mati (*Dead Load / DL*) dan Beban Mati Tambahan (*Superimposed Dead Load / SIDL*)

Beban mati (DL) yaitu berat semua bahan konstruksi gedung terpasang dengan beban besar yang konstan serta pada posisi yang selalu sama, termasuk lantai, plafon, dinding partisi tetap, dinding, tangga, atap, klading gedung, *finishing*, serta elemen arsitektural ataupun elemen struktural seperti beban mati yang bekerja pada gedung contohnya beban sendiri dari kolom, balok, dan pelat lantai. Sedangkan beban mati tambahan (SIDL) merupakan beban mati dalam bentuk elemen tambahan, sifatnya tetap, yang sebagai satu kesatuan dengan unsur struktur.

2.4.2 Beban Hidup (*Live Load / LL*)

Yaitu beban yang dihasilkan dari penggunaan sebuah bangunan, serta merupakan beban pada pelat lantai yang dihasilkan dari elemen yang bisa dipindahkan serta diganti selama umur rencana gedung. Beban hidup yang dipergunakan berdasar standar yang ditetapkan pada SNI – 1727 – 2020 terkait Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Beban hidup yang direncanakan yaitu:

a) Beban hidup pada Lantai Gedung

Berdasar SNI – 1727 – 2020 beban hidup yang digunakan sebagai acuan tentang pembebanan kantor (gedung perkantoran), yaitu 2.40 kN/m^2

b) Beban hidup pada Atap Gedung

Berdasar SNI – 1727 – 2020 beban hidup yang digunakan sebagai acuan tentang pembebanan kantor (gedung perkantoran), yaitu 4.70 kN/m^2

2.4.3 Beban Gempa (*Earthquake / EQ*)

Beban gempa ditetapkan berdasarkan gempa rencana yang disyaratkan dalam SNI – 1726 – 2019 terkait Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Gempa rencana merupakan gempa

dengan peluang terjadi pada periode usia rencana struktur gedung 50 tahun yaitu senilai 2%.

Dimuat pada SNI – 1726 – 2019 terkait Kategori risiko bangunan. Untuk beberapa kategori risiko struktur bangunan non gedung atau gedung berdasarkan **Tabel 2.4**, dampak gempa rencana terhadapnya perlu dikali dengan sebuah faktor utama I_e berdasarkan **Tabel 2.5**.

Tabel 2.4 Kategori risiko bangunan

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:	
– Perumahan	
– Rumah toko dan rumah kantor	
– Pasar - Gedung perkantoran	
– Gedung apartemen/rumah susun	II
– Pusat perbelanjaan/mall	
– Bangunan industri	
– Fasilitas manufaktur	
– Pabrik	

Struktur yang berdekatan harus dirancang berdasarkan tingkat risiko IV, jika diperlukan pintu masuk untuk pengoperasian dari struktur gedung yang berdekatan, terutama untuk struktur gedung tersebut harus didesain berdasarkan tingkat risiko IV.

Tabel 2.5 Faktor keutamaan gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

2.4.4 Faktor Beban dan Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban untuk metode komponen struktur, ultimit struktur, serta elemen fondasi perlu dibuat sedemikian rupa hingga rencananya sama maupun lebih dari pengaruh beban terfaktor. Berdasar SNI – 2847 – 2019 kombinasi pembebanan terfaktor, yaitu:

- 1,4 D
- 1,2 D + 1,6 LL + 0,5 (Lr atau R)
- 1,2 D + 1,6 (Lr atau R) + (1,0 L atau 0,5 W)
- 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5Lr atau R
- 1,2 D + 1,0E + 1,0LL
- 0,9D + 1,0W
- 0,9D + 1,0E

Untuk poin e) dan g) dengan beban gempa dimuat pada SNI – 1726 – 2019 faktor dan kombinasi beban untuk beban mati nominal, hidup nominal, dan gempa nominal, yakni:

- $(1,2 + 0,2 Sds) D + 1 LL \pm 0,3 \rho EX \pm 1 \rho EY$
- $(1,2 + 0,2 Sds) D + 1 LL \pm 1 \rho EX \pm 0,3 \rho EY$
- $(0,9 - 0,2 Sds) DL \pm 0,3 \rho EX \pm 1 \rho EY$
- $(0,9 - 0,2 Sds) DL \pm 1 \rho EX \pm 0,3 \rho EY$

dimana:

DL = Beban mati, termasuk SIDL

LL = Beban hidup

Lr = Beban hidup atap

R = Beban hujan

W = Beban angin

EX = Beban gempa arah – x

EY = Beban gempa arah – y

P = Faktor redundansi

Sds = Parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek

2.6 Pengecekan Perilaku Struktur

Pengecekan perilaku struktur dilakukan dengan cara sebagai berikut:

2.6.1 Periode Struktur

Periode getar struktur merupakan parameter dari massa dan kekakuan yang cukup penting dalam perancangan struktur bangunan gedung. Dalam penentuannya dapat dilakukan dengan persamaan (2.49) maupun melalui bantuan perangkat lunak hasil prosedur analisis ETABS.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.43)$$

Dimana h_n ketinggian struktur (m) dari atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari **Tabel 2.6**.

Tabel 2.6 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 % gaya seismic yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismic:	0,0724	0,8
• Rangka baja pemikul momen	0,0466	0,9
• Rangka beton pemikul momen		
Rangka baja dengan breising eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresising terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

(Sumber : SNI – 1726 – 2019)

Periode fundamental pendekatan (T_a) serta batasan atas di periode yang ditentukan menjadi dasar T (periode fundamental struktur) tidak dapat di atas hasil kali dari koefisien pada **Tabel 2.7** (Simatupang, 2019).

Tabel 2.7 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons 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
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber : SNI – 1726 – 2019)

2.6.2 Simpangan Antar Lantai

Berdasar SNI – 1726 – 2019 terkait Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, penetapan simpangan antar tingkat desain perlu diukur sebagai pembeda simpangan di pusat massa di bawah ataupun di atas serta tingkat yang diawasi. Simpangan pusat massa di tingkat- x harus dihitung berdasarkan rumus (2.50):

$$\delta_x = \frac{c_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.44)$$

dimana:

 c_d = faktor pembesaran simpangan lateral δ_{xe} = simpangan ditingkat- x I_e = faktor keutamaan gempa

Pada SNI – 1726 – 2019 pun diterangkan bahwa simpangan antar tingkat desain tidak dapat di atas simpangan antar tingkat izin sebagaimana diperoleh pada **Tabel 2.8** untuk setiap tingkat.

Tabel 2.8 Simpangan antar tingkat izin

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasikan simpangan antar tingkat	$0,025h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

(Sumber : SNI – 1726 – 2019)

Tabel 2.9 Tabel faktor R, Ω_0 , dan C_d , untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem Rangka Pemikul Momen	Koefisien Modifikasi Respons, R	Faktor Kuat-Lebih Sistem, Ω_0	Faktor Pembesaran Defleksi, C_d
Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus	8	3	5,5

(Sumber : SNI – 1726 – 2019)

2.6.3 Pengaruh P-Delta

Menurut SNI – 1726 – 2019 pengaruh P-delta koefisien stabilitas θ ditentukan oleh persamaan (2.43) sama dengan atau kurang dari 0,10 tidak perlu diperhitungkan oleh akibat geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat (Badan Standardisasi Nasional, 2019)

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (2.45)$$

dimana:

 P_x = beban desanon bertikal total, Δ = simpangan antar tingkat desain, I_e = faktor keutamaan gempa, V_x = gaya geser seismic yang bekerja antara tingkat x (kN), h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat x (mm),

C_d = faktor pembesaran simpangan lateral

Koefisien stabilitas θ tidak boleh melebihi θ_{max} yang ditetapkan oleh persamaan (2.52) sebagai berikut:

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (2.46)$$

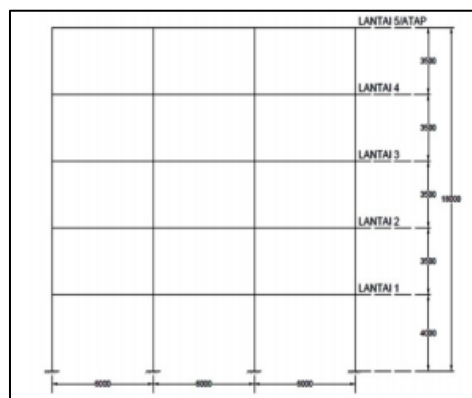
dimana β merupakan rasio yang secara konservatif diizinkan diambil sebesar 1,0 dan rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat.

2.7 Penelitian Terdahulu

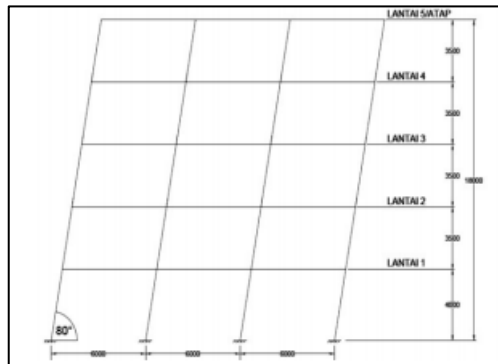
Tercantum sejumlah hasil penelitian yang sudah dilaksanakan oleh beberapa peneliti sebelumnya yang memiliki kaitan serta bisa dipergunakan sebagai bahan referensi. Penelitian tersebut yaitu:

- a) Penelitian Angelina Dhini Uli Artha Simatupang (2019)

Penelitian ini dengan judul “Analisis dan Desain Elemen Struktur Beton Bertulang pada Gedung yang Memiliki Kolom Miring dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)”. Metode studi yang dipergunakan pada penelitian ini ialah merancang 2 model desain gedung (kolom miring dan tegak lihat **Gambar 2.10** dan **Gambar 2.11**) yang selanjutnya didesain sesuai dengan SNI 2847 (2013) serta dianalisa mempergunakan *Structural Analysis Program*.



Gambar 2.12 Tampak depan gedung model 1 (kolom tegak)



Gambar 2.13 Tampak depan gedung model 1 (kolom miring)

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu perbandingan hasil analisa dan desain bangunan yang mempunyai kolom miring dan bangunan kolom tegak, meliputi nilai momen torsi, gaya geser, gaya dalam berbentuk momen lentur, serta gaya aksial pada balok gedung dan struktur kolom Model 2 yang mempunyai kolom miring dengan beban gempa di daerah kota Banjarmasin, Kalimantan Selatan, mempunyai nilai yang lebih tinggi dibanding gedung Model 1 dan total berat yang dibutuhkan untuk tulangan yang dipasang di gedung Model 2 lebih berat dibanding gedung Model 1 senilai 70,89%.

b) Penelitian Afret Nobel (2012)

Penelitian ini yang judulnya “Studi Perilaku Struktur Gedung dengan Kolom Miring Beton Bertulang Bentang Panjang terhadap Beban Gempa (Studi Kasus Universitas Negeri “x”)”. Penelitian dilakukan pada atap auditorium Universitas Negeri "x" dengan mempergunakan 4 pasang kolom miring beton bertulang bentang panjang yang bertemu di sebuah titik berbentuk prisma (*pyramid*). Berdasar SNI-1726-2002, lokasi gedung di Manado berada di zona gempa wilayah 5 dengan resiko tinggi. Sehingga, ketika merancang struktur kolom miring beton bertulang bentang panjang pada gedung tersebut, harus diketahui perilaku kolom pada beban gempa.

Penelitian dilakukan dengan pemodelan struktur dalam 4 varian dari gambar arsitektur yang disediakan, pembuatan model analisis dan struktur mempergunakan perangkat lunak komputer SAP V11.0.0. Perbedaan keempat kolom tersebut adalah jenis pengaku dan penampang kolom yang dipergunakan. Berdasar analisis didapat

kerugian ataupun keuntungan setiap varian kolom. Dari penilaian studi ini, studi tingkah laku struktur gedung yang dibangun dengan kolom miring beton bertulang bentang panjang tersebut, biasanya bisa disimpulkan berdasar displacement/lendutan di atas bangunan, dengan varian 1 menjadi hasil terbaik dan varian 4 menjadi hasil paling kecil serta berdasar berat tulangan yang dipergunakan, varian 1 dan varian 2 memberi hasil yang paling kecil, sementara varian 3 dan varian 4 memberi hasil yang paling besar.

c) Penelitian Firdaus Bagus Bayu Kresna (2016)

Penelitian ini yang judulnya “Evaluasi Penggunaan Kolom Miring Pada Struktur Bangunan C-Dast Universitas Jember”. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menilai besaran aksial, momen, ataupun geser pada kolom miring jika dibanding kinerja kolom tegak. Untuk manfaatnya melihat metode yang akan dipergunakan dalam memperoleh desain perencanaan kolom miring. Pengerjaan penelitian ini menggunakan metode analisa pemodelan SAP 2000.

Berdasarkan hasil evaluasi model SAP 2000 antara kolom vertikal dengan kolom miring bisa diambil kesimpulan untuk nilai gaya pada struktur kolom besar (geser, momen, atau aksial), dan untuk skor yang diperoleh antara kolom miring dengan kolom tegak mempunyai deviasi yang besar mencapai 2 50 % serta hanya beberapa yang mempunyai deviasi $< 50 \%$.