

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Steven Limbongan dalam penelitian karya ilmiahnya pada tahun 2014 berjudul Analisis Struktur Beton Bertulang Kolom Pipih Pada Gedung Bertingkat menganalisa kolom pipih dengan mempertimbangkan kelangsingan kolom dalam menerima beban aksial tekan terfaktor dengan perbesaran momen sesuai SNI 03-2847-2013 yang mengacu pada ACI 318M-11 Building Code Requirements for Structural Concrete.

Arif Rahman dalam penelitian karya ilmiahnya pada tahun 2015 berjudul Redesain Struktur Pembangunan Gedung Rawat Inap RSUD Tugurejo Semarang merencanakan dan perhitungan struktur konstruksi beton bertulang yang meliputi komponen atap, pelat lantai, tangga, balok dan kolom dengan analisa menggunakan *software* SAP 2000 dengan mengacu pada pedoman Beban kerja diambil berdasarkan SNI 03-1727-1989-F, dan perencanaan struktur berdasarkan SNI 03-1726-2002 dan lain-lain. Tujuan dari penelitian ini adalah merencanakan gedung lima lantai dengan cara memberikan gambaran yang jelas serta proses perencanaan suatu struktur dari tahap awal sampai akhir, termasuk Rencana Anggaran Biaya dan Syarat-syarat Teknis Pelaksanaan Pekerjaan.

Arif Setiawan; Dwi Ari Prasetyo dalam penelitian karya ilmiahnya pada tahun 2009 berjudul Perencanaan Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan SAP 2000 merencanakan dan perhitungan struktur

konstruksi beton bertulang yang meliputi komponen plat lantai, plat tangga, kolom, balok, dan pondasi yang mengacu pada persyaratan untuk perhitungan gedung SNI 03-T-15-1991-03, ketahanan gempa SNI 03-126-2002, dan pembebanan SNI 03-1727-1989.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pembebanan

Ketentuan mengenai perencanaan didasarkan pada asumsi bahwa struktur kolom direncanakan untuk memikul semua beban yang bekerja pada kolom. Beban kerja diambil berdasarkan peraturan pembebanan Indonesia untuk bangunan gedung. Untuk perencanaan struktur kolom mengacu pada SNI 03-1727-2013.

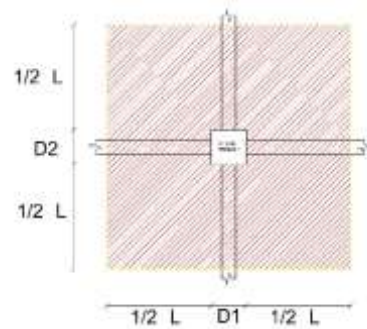
Beban yang bekerja pada kolom sebagai berikut:

1. Beban Vertikal (Aksial)

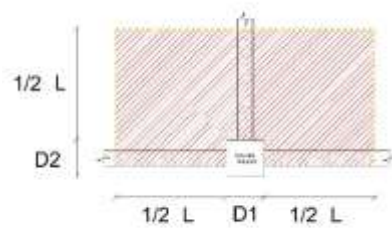
Beban vertikal merupakan beban yang bekerja akibat gaya gravitasi. Secara umum beban vertikal yang dipikul kolom dibagi menjadi dua yaitu :

a. Beban Mati

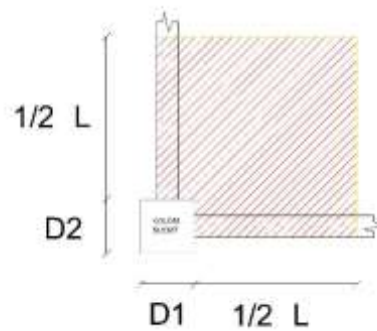
Beban mati merupakan berat dari semua bagian gedung yang bersifat tetap termasuk segala unsur tambahan yang merupakan bagian tak terpisahkan dari gedung. Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung. Beban mati yang di pikul oleh satu kolom sesuai peraturan SNI 1727-2013 adalah setengah bentang membentuk bidang kritis.



Gambar 2.1 Bidang Kritis Kolom Tengah



Gambar 2.2 Bidang Kritis Kolom Pinggir



Gambar 2.3 Bidang Kritis Kolom Sudut

Dimana :

D1 : panjang sisi kolom

D2 : lebar sisi kolom

L : bentang antar kolom

b. Beban Hidup

Semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung dan termasuk beban – beban pada lantai yang berasal dari barang – barang yang dapat berpindah, beban genangan maupun tekanan jatuh air hujan, serta peralatan yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama usia layan dari gedung tersebut. Semua beban hidup mempunyai karakteristik berpindah atau bergerak. Besarnya beban hidup terbagi merata ekuivalen yang harus diperhitungkan pada struktur bangunan gedung, pada umumnya dapat ditentukan berdasarkan standar yang berlaku. Distribusi beban hidup merata dan beban terpusat dapat dilihat pada lampiran -1.

2. Beban Horizontal (Lateral)

Beban horizontal merupakan beban yang bekerja akibat pengaruh dari luar. Secara umum beban horizontal yang dipikul kolom dibagi menjadi dua yaitu :

a. Beban Angin

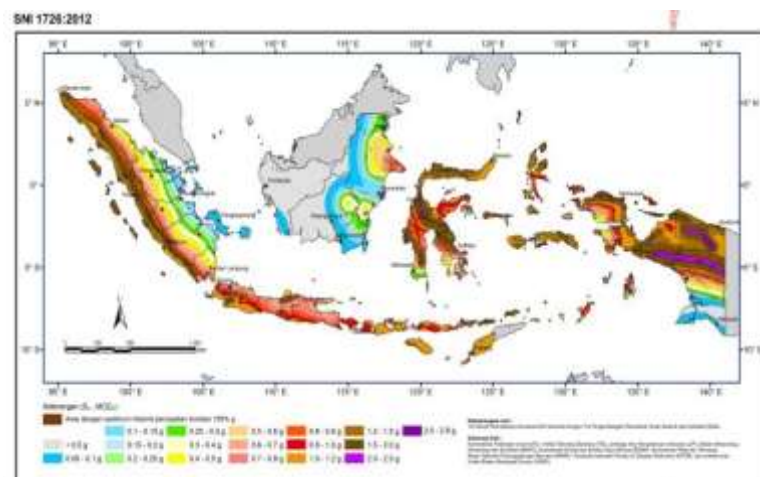
Beban Angin merupakan semua beban yang bekerja pada gedung yang disebabkan oleh selisih tekanan udara. Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif (fan) tekanan negatif (hisap) yang bekerja tegak lurus pada bidang yang ditinjau dalam satuan kg/m². Tekanan tiup minimum 25 kg/m², sedangkan khusus sejauh 5 km dari di tepi laut tekanan tiup minimum 40 kg/m². Untuk daerah dekat laut atau daerah yang dapat menghasilkan tekanan tiup lebih dari 40 kg/m², nilai tekanan tiup adalah

$$(p) = V^2/16 \quad (2.1)$$

V = kecepatan angin dalam m/detik.

b. Beban Gempa

Persyaratan struktur bangunan tahan gempa adalah kemungkinan terjadinya risiko kerusakan pada bangunan merupakan hal yang dapat diterima, tetapi keruntuhan total (collapse) dari struktur yang dapat mengakibatkan terjadinya korban yang banyak harus dihindari. Di dalam standar gempa yang baru dicantumkan bahwa, untuk perencanaan struktur bangunan terhadap pengaruh gempa digunakan Gempa Rencana. Gempa Rencana adalah gempa yang peluang atau risiko terjadinya dalam periode umur rencana bangunan 50 tahun adalah 10% ($RN = 10\%$), atau gempa yang periode ulangnya adalah 500 tahun ($TR = 500$ tahun). Dengan menggunakan Gempa Rencana ini, struktur dapat dianalisis secara elastis untuk mendapatkan gaya-gaya dalam yang berupa momen lentur, gaya geser, gaya normal, dan puntir atau torsi yang bekerja pada tiap-tiap elemen struktur. Gaya-gaya dalam ini setelah dikombinasikan dengan gaya-gaya dalam yang diakibatkan oleh beban mati dan beban hidup, kemudian digunakan untuk mendimensi penampang dari elemen struktur berdasarkan metode LRFD (Load Resistance Factor Design) sesuai dengan standar desain yang berlaku, untuk perencanaan beban gempa mengacu pada SNI 1726-2012.



Gambar 2.4 Daerah Gempa (SNI 1726-2012)

2.2.2 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan sesuai dengan persyaratan perencanaan beton struktural untuk bangunan gedung SNI 2847-2013, yaitu :

1. Kekuatan Perlu

Kekuatan perlu U yang digunakan dalam SNI 2847-2013 pasal 9.2 dengan pengaruh beban terfaktor sebagai berikut.

$$U = 1,4D \quad (2.2)$$

$$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R) \quad (2.3)$$

$$U = 1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W) \quad (2.4)$$

$$U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(L_r \text{ atau } R) \quad (2.5)$$

$$U = 1,2D + 1,0E + 1,0L \quad (2.6)$$

$$U = 0,9D + 1,0W \quad (2.7)$$

$$U = 0,9D + 1,0E \quad (2.8)$$

Dimana :

D = beban mati

L = beban hidup

W = beban angin

E = beban gempa

L_r = beban hidup atap

R = beban hujan

2. Kuat Rencana / Desain

Kekuatan yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya. Sehubungan lentur, beban normal, geser, dan torsi harus diambil sebesar kekuatan nominal dihitung sesuai dengan persyaratan dan asumsi dari standar yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan (ϕ) sesuai SNI 2847-2013 pasal 9.3.

2.2.3 Kolom

Kolom sebagai komponen struktur mempunyai tugas utama yaitu menyangga beban aksial tekan vertikal. Kolom dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu kolom pendek dan kolom panjang (kolom langsing). Perbedaan ini di tinjau dari rasio kelangsingan kolom, yaitu nilai perbandingan ukuran antara pendek atau panjangnya kolom terhadap dimensi lateral. Kegagalan pada kolom pendek, biasanya terjadi karena hancurnya material beton atau baja tulangan. Tetapi kegagalan pada kolom panjang, biasanya terjadi karena tertekuknya batang sehingga patah. Dalam hal perilaku deformasi kolom akibat menahan beban horizontal, kolom dibedakan menjadi 2 macam, yaitu : kolom tidak dapat bergoyang dan kolom dapat bergoyang.

SNI 2847-2013 pasal 10.10 memberikan suatu batasan syarat untuk kolom langsing sebagai berikut :

1. Pengaruh Kelangsingan Kolom

a. Untuk kolom yang dapat bergoyang (Pasal 10.10.1a)

$$\frac{K l_u}{r} \leq 22 \quad (2.9)$$

$$r = \sqrt{I/A} \quad (2.10)$$

b. Untuk Kolom yang tidak dapat bergoyang (Pasal 10.10.1b)

$$\frac{K l_u}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40 \quad (2.11)$$

Dimana M_1 / M_2 (kNm) adalah positif jika kolom dibengkokkan dalam kurvatur tunggal, dan negatif jika komponen struktur dibengkokkan dalam kurvatur ganda.

Dimana :

k = faktor panjang efektif kolom

l_u = panjang bersih kolom, m

r = radius girasi atau jari-jari inersia penampang kolom,

= $0,3 \cdot h$ (jika kolom berbentuk persegi)

= $0,25 \times \text{diameter kolom}$ (jika kolom berbentuk bulat)

I & A = momen inersia dan luas penampang kolom,

m^4 dan m^2

2. Faktor Panjang Efektif Kolom (k)

Faktor panjang efektif kolom (k) ini sangat dipengaruhi oleh derajat hambatan pada ujung-ujung kolom (ψ) Derajat hambatan ψ dirumuskan sebagai berikut (pasal 10.10. 7.2) :

$$\Psi = \frac{\sum \frac{E I_c}{l_c}}{\sum \frac{E I}{l}} \quad (2.12)$$

Jika ujung kolom berupa :

Jepit, maka nilai $\psi = 0$

Sendi, maka nilai $\psi = 10$

Bebas , maka nilai $\psi = \infty$

Dengan :

Ψ = derajat hambatan pada ujung kolom

E = modulus elastis beton = $4700 \sqrt{f_c}$, MPa

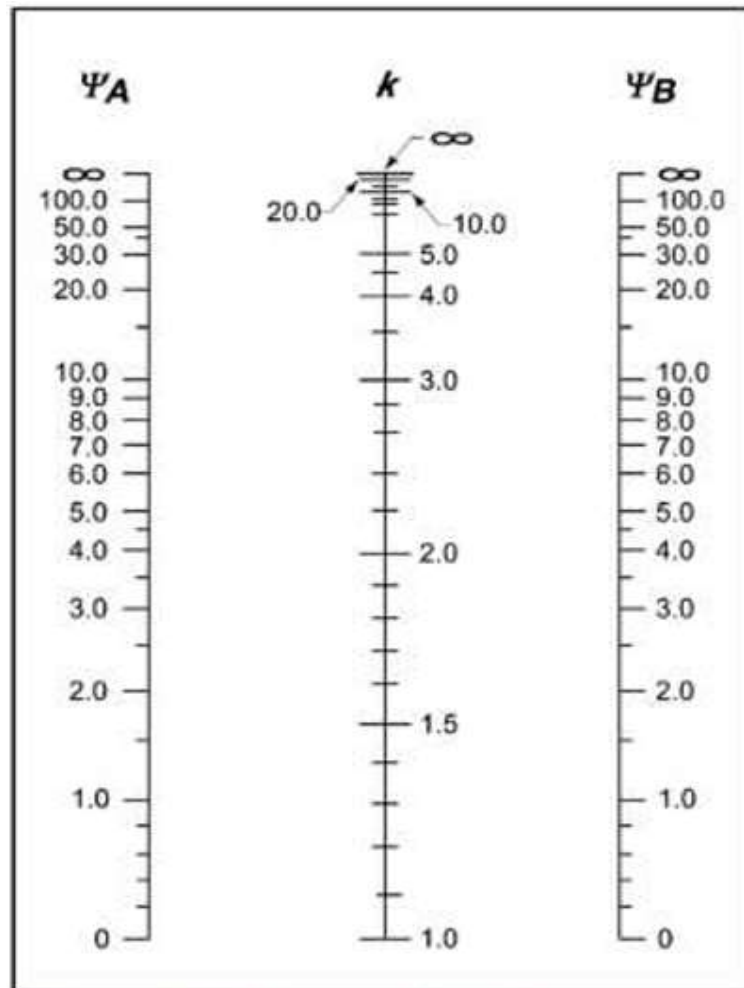
I = momen inersia, mm⁴

l_c = panjang bersih kolom, mm

l = panjang bersih balok, mm

Nilai k ini dibedakan 2 macam, yaitu untuk jenis kolom yang tidak dapat bergoyang dan jenis kolom yang dapat bergoyang.

- a. Untuk kolom yang tidak dapat bergoyang nilai k, boleh diambil sebesar 1,0 (pasal 10.10.6.3)
- b. Untuk kolom yang dapat bergoyang nilai k, harus ditentukan menggunakan nilai E dan I dan tidak boleh kurang dari 1,0 (pasal 10.10.7.2)



Gambar 2.5 Faktor Panjang Efektif Kolom

3. Pembesaran Momen

Untuk menghindari bahaya tekuk pada kolom langsing atau kolom panjang, maka dalam perencanaan tulangan longitudinal dilaksanakan dengan cara memperbesar momen rencana kolom. Pembesaran momen dilaksanakan dengan memberikan faktor pembesar momen (δ_b atau δ_s) pada momen terfaktor (M_u), sehingga berubah menjadi momen terfaktor yang diperbesar (M_c). nilai momen M_c dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

a. Untuk kolom yang tidak dapat bergoyang (pasal 10.10.6)

$$M_c = \delta_{ns} \cdot M_2 \quad (2.13)$$

b. Untuk kolom yang dapat bergoyang (pasal 10.10.7)

Momen M_1 dan M_2 diujung komponen struktur individu harus diambil sebesar.

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

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

dengan :

M_c = momen terfaktor yang diperbesar, N-mm

δ_b / δ_{ns} = faktor pembesar momen untuk rangka yang di tahan terhadap goyangan ke samping, atau faktor pembesar momen untuk rangka yang tidak dapat bergoyang. Subscript b berarti braced (dikekang).

δ_s = faktor pembesar momen untuk rangka yang tidak ditahan terhadap goyangan ke samping, atau faktor pembesar momen untuk rangka yang dapat bergoyang. Subscript s berarti sway (bergoyang).

M_{1ns}/M_{2b} = momen yang besar pada salah satu ujung kolom yang tidak menimbulkan goyangan, N-mm

M_{1s} & M_{2s} = momen yang kecil dan yang besar
pada salah satu ujung kolom yang
menimbulkan goyangan, N-mm

Faktor pembesar momen dihitung menurut rumus berikut :

a. Untuk kolom yang tidak dapat bergoyang (pasal 10.10.6)

$$\delta_{ns} = \frac{Cm}{1 - \frac{Pu}{0,75 \cdot Pc}} \geq 1,0 \quad (2.16)$$

Jika ada beban transversal di antara tumpuannya, $Cm = 1,0$ Untuk
komponen struktur tanpa beban transversal, $Cm = (0,6 + 0,4 \frac{M_1}{M_2})$

b. Untuk kolom yang dapat bergoyang (pasal 10.10.7)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum Pu}{0,75 \cdot \sum Pc}} \quad (2.17)$$

Dimana,

$$Pc = \frac{\pi^2 \cdot EI}{(K \cdot lu)^2} \quad (2.18)$$

EI boleh diambil sebesar

$$EI = \frac{(0,2 Ec Ig + Es Ise)}{1 + \beta_{dns}} \quad (2.19)$$

Atau

$$EI = \frac{0,4 Ec Ig}{1 + \beta_{dns}} \quad (2.20)$$

Dengan :

ΣPu = jumlah seluruh beban vertical terfaktor yang
ada pada suatu tingkat, kN

ΣPu = jumlah seluruh kapasitas tekan kolom yang
ada pada suatu tingkat, kN

2.2.4 Desain Kolom

Desain kolom yang direncanakan sesuai dengan persyaratan perencanaan beton struktural untuk bangunan gedung SNI 2847-2013, meliputi :

2.2.4.1 Perhitungan Dimensi Awal Kolom

Perhitungan dimensi awal dan luas penampang tulangan kolom dihitung berdasarkan SNI 2847-2013 dengan persamaan :

Untuk kolom persegi ($\phi = 0,70$)

$$Pu = \phi \cdot 0,80 [0,85 \cdot f'c \cdot (Ag - Ast) + fy \cdot Ast] \quad (2.20)$$

Untuk kolom spiral ($\phi = 0,75$)

$$Pu = \phi \cdot 0,80 [0,85 \cdot f'c \cdot (Ag - Ast) + fy \cdot Ast] \quad (2.21)$$

Dimana :

Pu = Beban Aksial Maksimum

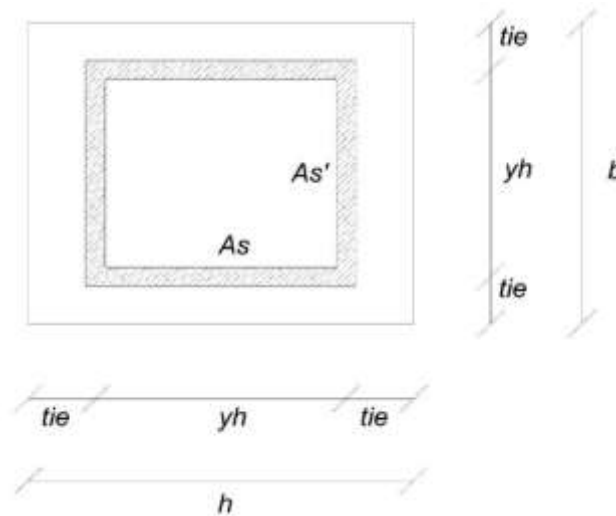
Ag = Luas Penampang Kolom

Ast = Luas Tulangan total

$F'c$ = Mutu Beton

Fy = Mutu Baja

2.2.4.2 Perhitungan Tulangan Utama Dengan Grafik Interaksi



Gambar 2.6 Dimensi Penampang Kolom

Dimana :

b : sisi panjang kolom

h : sisi lebar kolom

As' : luas tulangan sisi panjang

As : luas tulangan sisi lebar

Yh : tinggi/lebar efektif

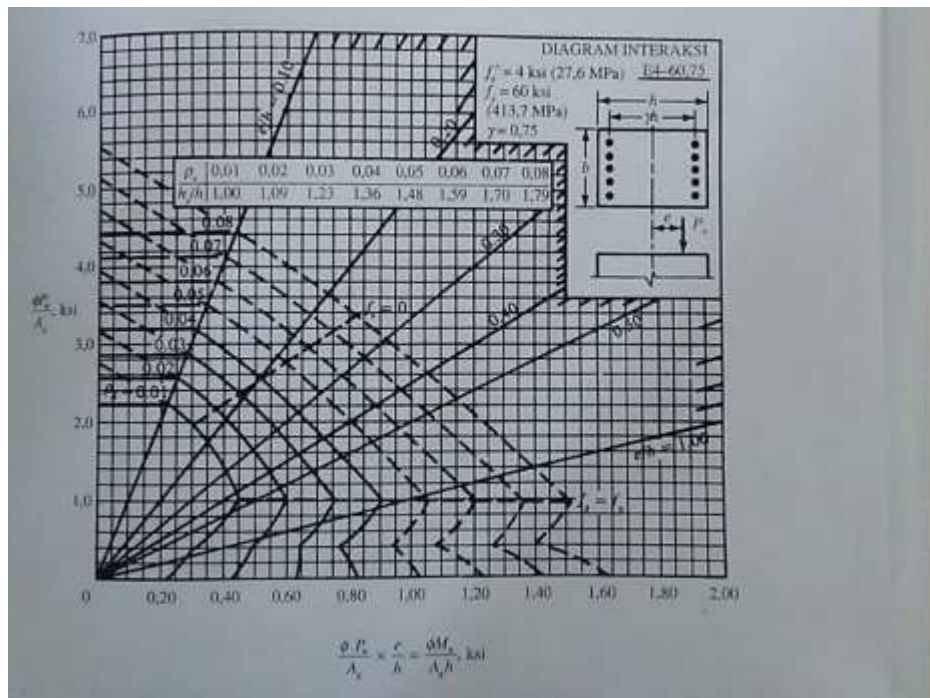
Tie : selimut beton

$$eksentrisitas (e) = \frac{Mu}{Pu} \quad (2.22)$$

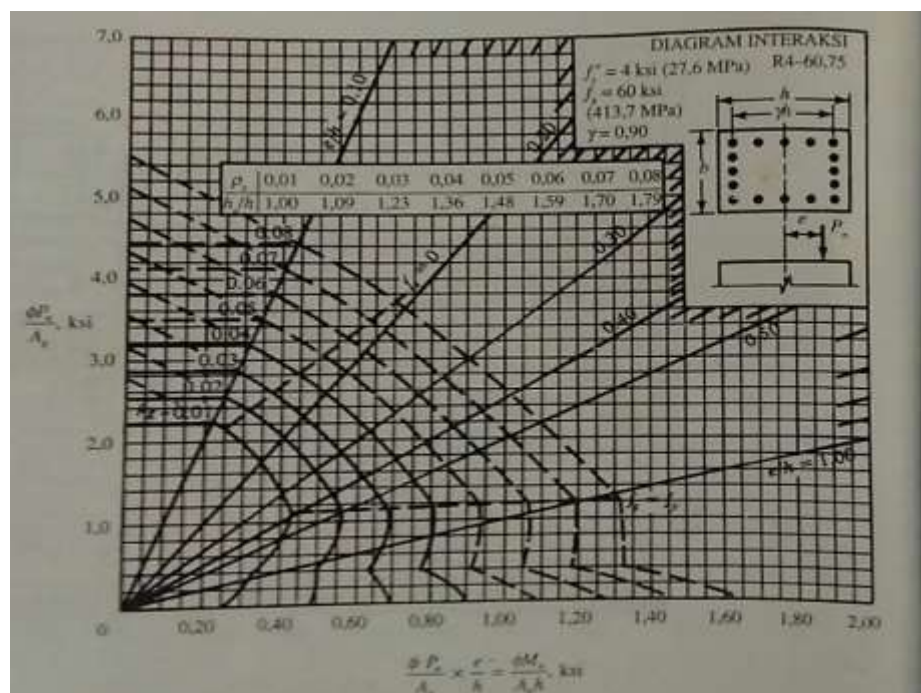
$$\frac{\phi Pn}{Ag} \frac{e}{h} \quad (2.23)$$

$$\gamma = \frac{yh}{h} \quad (2.24)$$

$$Ast = \rho \cdot Ag \quad (2.25)$$



Gambar 2.7 Diagram interaksi kolom ACI untuk tulangan pada 2 sisi



Gambar 2.8 Diagram interaksi kolom ACI untuk tulangan pada 4 sisi

Dimana :

e = eksentrisitas

h = dimensi panjang kolom

b = dimensi pendek kolom

γh = panjang bersih penampang kolom

A_g = luas penampang kolom

A_{st} = luas tulangan kolom

P_n = gaya tekan nominal

ϕ = koefisien faktor (0,7 untuk kolom persegi & 0,75
untuk kolom spiral

γ = rasio antara γh dan h

ρ = rasio (ditentukan dari diagram yang sesuai)

2.2.4.3 Perhitungan Tulangan Geser (SNI 2847-2013 ps1 11)

- Gaya geser perlu kolom

$$V_{uk} = \frac{Mu_2 - Mu_1}{\lambda k} \quad (2.26)$$

- Gaya geser yang dipikul beton

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{Nu}{14 \cdot A_g} \right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot bw \cdot d \quad (2.27)$$

- Gaya geser yang dipikul sengkang

$$V_s = \frac{V_{uk} - \phi V_c}{\phi} \quad (2.28)$$

$$V_s \max \leq 0,66 \sqrt{f'_c} \cdot bw \cdot d \quad (2.29)$$

- Luas tulangan geser

$$AVu = \frac{Vs.S}{Fy.d} \quad (2.30)$$

$$AVu \text{ min} = 0,062 \cdot \sqrt{f'c} \frac{bw.S}{Fy} \quad (2.31)$$

Tidak boleh kurang dari,

$$AVu = 0,35 \cdot \frac{bw.S}{Fy} \quad (2.32)$$

Diambil Vu yang maximum.

- Spasi tulangan geser (sengkang)

$$S = \frac{n \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2\right) \cdot S}{AVu} \quad (2.33)$$

Dimana :

Nu = Gaya aksial terfaktor

λ_k = Panjang efektif kolom

λ = 1,0 (faktor modifikasi SNI 2847-2013 psl 8.6)

bw = dimensi pendek penampang

d = panjang efektif penampang

f'c = mutu beton

Fy = mutu baja

S = jarak tinjauan kolom / 1000 mm

2.2.4.4 Syarat sesuai SNI 2847-2013

a. Syarat tulangan utama

- Luas tulangan longitudinal (A_{st}) untuk komponen struktur tekan non-komposit tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ atau lebih dari $0,08A_g$. (SNI 2847-2013 psl 10.9,1)
- Jumlah minimum batang tulangan longitudinal pada komponen struktur tekan adalah 4 untuk segi empat, 3 untuk kolom segi tiga, dan 6 untuk kolom spiral. (SNI 2847-2013 psl 10.9,2)

b. Syarat jarak sengkang

Jarak sengkang tidak boleh melebihi ;

$$S = \frac{1}{2}d \quad (2.34)$$

$$S \leq 600 \text{ mm} \quad (2.35)$$

2.2.5 Software SAP 2000

Seiring dengan perkembangan teknologi informasi global sekarang ini, maka secara otomatis tuntutan penggunaan teknologi tersebut mutlak diperlukan, berbagai macam dampak perkembangan teknologi adalah munculnya berbagai software under window, baik pada bidang desain grafis maupun pada bidang rancang bangun, adapun salah satu wujud teknologi pada bidang rancang bangun yang sekarang berkembang adalah SAP (Structural Analysis Program), yang mana SAP ini adalah program yang digunakan untuk menganalisis dan mendesain suatu struktur yang berorientasi obyek (Object Oriented Programming).

Program SAP2000 ini memiliki beberapa kelebihan, terutama dalam perancangan struktur baja dan beton, dalam perancangan struktur baja SAP2000 dapat merancang elemen struktur dengan menggunakan

profil baja yang optimal dan seekonomis mungkin, sehingga dalam penggunaanya tidak perlu menentukan elemen awal dengan profil pilihannya, tetapi cukup memberikan data profil dari database yang ada pada SAP2000, dan ini hanya berlaku untuk perancangan struktur baja, sedangkan untuk perancangan struktur beton kita tetap harus menentukan elemen awal sebagai asumsi awal perancangan yang kemudian nanti diperoleh luas tulangan totalnya.

Dalam penelitian ini program SAP 2000 digunakan untuk membantu menganalisa permodelan gedung untuk mencari gaya – gaya yang bekerja, khususnya untuk kolom tinggi pada proyek verde two condominium. Hasil analisa permodelan dari SAP 2000 digunakan untuk mendesain ulang kolom, agar tujuan dalam penelitian ini dapat tercapai.

2.3 Kerangka Pemikiran

Kolom langsing direncanakan dengan faktor utama yaitu panjang kolom tanpa sokongan, faktor panjang efektif, dan jari-jari girasi (putaran). Faktor kelangsingan dari kolom dapat mengurangi kapasitas kolom itu sendiri. Kolom langsing juga dapat menyebabkan tegangan lentur bertambah dan dapat terjadi tekuk. Hal ini terjadi karena kolom langsing tidak hanya menerima gaya aksial saja, namun juga memperhitungkan penambahan momen sekunder akibat kelangsingannya tersebut. Akibat adanya penambahan momen pada kolom langsing dapat menjadikan jumlah tulangan dan mutu yang digunakan akan semakin besar, dan berpengaruh pada biaya yang dikeluarkan. Didasarkan pada sifat inilah diharapkan Re-desain kolom langsing dapat digunakan sebagai perbandingan untuk mendesain suatu kolom dalam sisi kekuatan struktur, perbandingan biaya, dan efisiensi penggunaan space ruangan.