

BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Ketentuan Mengenai Kekuatan

Dalam perencanaan suatu struktur gedung, faktor kekuatan mendapat perhatian utama. Penerapan faktor kekuatan dalam struktur bangunan bertujuan untuk mengendalikan kemungkinan terjadinya runtuh yang dapat membahayakan bagi penghuni. Sehingga dalam penerapannya perlu ditetapkan suatu kebutuhan relatif yang ingin dicapai, dimana nantinya gedung akan dapat menerima beban yang lebih besar dari beban yang direncanakan. Kriteria dasar dari kuat rencana yaitu kekuatan yang tersedia \geq kekuatan yang dibutuhkan, di mana “kekuatan yang tersedia“ (seperti kekuatan momen) dihitung sesuai dengan peraturan dan pemisalan dari sifat yang ditetapkan oleh suatu peraturan bangunan, dan “kekuatan yang diperlukan” adalah kekuatan yang dihitung dengan menggunakan suatu analisa struktur.

Kekuatan semua penampang komponen struktur dari gedung harus direncanakan sesuai dengan kriteria dasar di atas. Struktur dan komponen struktur harus direncanakan hingga semua penampang mempunyai kuat rencana minimum sama dengan kuat perlu, yang dihitung berdasarkan kombinasi beban dan gaya terfaktor. Kuat rencana suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan perilaku lentur, beban normal, geser, dan torsi harus diambil sebagai hasil kali kuat nominal, yang dihitung berdasarkan ketentuan dan asumsi dalam SNI 03-1727-2013.

Kekuatan yang diperlukan, disebut sebagai kuat perlu dan diberi simbol U menurut SNI 03-2847-2002 adalah sebagai berikut ini.

- 1) Kuat perlu U untuk menahan beban mati D paling tidak harus sama dengan

$$U = 1,4 D \quad \dots\dots\dots(2.1.1)$$

Kuat perlu U untuk menahan beban mati D , beban hidup L , dan juga beban atap A atau beban hujan R , paling tidak harus sama dengan

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R) \quad \dots\dots\dots(2.1.2)$$

- 2) Bila ketahanan struktur terhadap beban angin W harus diperhitungkan dalam perencanaan, maka pengaruh kombinasi beban D , L , dan W berikut harus ditinjau untuk menentukan nilai U yang terbesar, yaitu:

$$U = 1,2 D + 0,5 L + 1,6 W + 0,5 (A \text{ atau } R) \quad \dots\dots\dots(2.1.3)$$

di mana kombinasi beban harus memperhitungkan kemungkinan beban hidup L yang penuh dan kosong untuk mendapatkan kondisi yang paling berbahaya, dan

$$U = 0,9 D + 1,6 W \quad \dots\dots\dots(2.1.4)$$

Perlu dicatat bahwa untuk setiap kombinasi beban D , L , dan W , kuat perlu U tidak boleh kurang dari Pers. (2.1.2).

- 3) Bila ketahanan struktur terhadap beban gempa (E) harus diperhitungkan dalam perencanaan, maka nilai kuat perlu U harus diambil sebagai:

$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E \quad \dots\dots\dots(2.1.5)$$

$$U = 0,9 D \pm 1,1 E \quad \dots\dots\dots(2.1.6)$$

dalam hal ini nilai E ditetapkan berdasarkan ketentuan SNI-03-1726-1989 F tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung, atau penggantinya

4. Kuat rencana suatu komponen struktur sehubungan dengan perilaku lentur, beban normal, geser, dan torsi harus diambil sebagai hasil kali kuat nominal yang dihitung dengan suatu faktor reduksi kekuatan ϕ . Sesuai dengan SNI 03-2847-2002 faktor reduksi ϕ diatur sebagai berikut:

1. reduksi kekuatan lentur, tanpa beban aksial : 0,80
2. Beban aksial, dan beban aksial dengan lentur:
 - (a) reduksi beban aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur : 0,80
 - (b) reduksi beban aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur:
 - komponen struktur dengan tulangan spiral : 0,70
 - komponen struktur lainnya : 0,65
4. reduksi untuk geser dan torsi : 0,75
5. tumpuan pada beton : 0,65

2.2. Dasar-Dasar Pembebanan

Beban yang bekerja pada suatu struktur ditimbulkan secara langsung oleh gaya-gaya alamiah dan manusia, dengan kata lain, terdapat dua sumber dasar beban bangunan: geofisik dan buatan manusia.

Gaya-gaya geofisik yang dihasilkan oleh perubahan-perubahan yang senantiasa berlangsung di alam dapat dibagi menjadi gaya-gaya gravitasi, meteorology, dan seismologi. Karena gravitasi, maka berat bangunan itu sendiri akan menghasilkan gaya struktur yang dinamakan beban mati, dan beban ini akan tetap sepanjang usia bangunan. Perubahan dalam penggunaan bangunan akan tunduk pada efek gravitasi sehingga akan menghasilkan perbedaan pembebanan sepanjang waktu tertentu. Beban meteorology berubah menurut waktu dan tempat

serta tampil berwujud angin, suhu, kelembaban, hujan, salju, dan es. Gaya-gaya seismologi dihasilkan oleh gerak tanah yang tidak teratur, seperti gempa.

Pembebanan yang sumbernya buatan manusia dapat berupa ragam kejutan yang ditimbulkan oleh kendaraan bermotor, elevator (lift), mesin, dan sebagainya, atau dapat pula oleh pergerakan manusia dan barang, ataupun akibat ledakan dan benturan.

Dalam perencanaan suatu struktur bangunan, sebaiknya mengikuti peraturan-peraturan pembebanan yang berlaku untuk mendapatkan suatu struktur bangunan yang mampu menahan beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut. Secara umum beban-beban yang harus diperhitungkan dalam perancangan suatu struktur bangunan adalah sebagai berikut:

2.2.1. Beban mati

Beban mati dapat dinyatakan sebagai gaya statis yang disebabkan oleh berat tiap unsur didalam struktur, termasuk unsur tambahan serta peralatan-peralatan tetap yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung tersebut.

Tabel 2.1: Beberapa intensitas beban mati

Beban Mati	Berat (kg/m³)
Pasir (kering udara sampai lembab)	1600
Pasir (jenuh air)	1800
Kerikil (kering udara sampai lembab)	1650
Beton	2200
Beton bertulang	2400
Pasangan batu bata	1700
Pasangan batu belah, batu gunung, dan batu bulat	2200
Besi tuang	7250
Baja	7850
Aluminium	2750
Kaca	2600

Sumber: Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung 1987

2.2.2. Beban hidup

Semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan kedalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan-peralatan yang tidak merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari bangunan itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada atap, ke dalam beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (energi kinetik) butiran air.

Tabel 2.2 : Beberapa intensitas beban hidup

Beban Hidup	Berat (kg/m³)
(a) Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam (b)	200
(b) Lantai dan rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untuk toko atau ruang kerja	150
(c) Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, restoran, hotel dan asrama	250
(d) Lantai olah raga	400
(e) Tangga, bordes tangga, dan gang yang disebutkan dalam (c)	300
(f) Lantai ruang dansa	500
(g) Lantai dan balkon-dalam dari ruang untuk pertemuan, tidak termasuk dalam yang disebutkan dalam (a) s.d (f) seperti gereja, ruang konser, ruang pertunjukan, ruang rapat, bioskop dsb.	400

Sumber: Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung 1987

2.2.3. Beban gempa

Gempa adalah fenomena getaran yang diakibatkan oleh benturan atau gesekan lempeng tektonik bumi yang terjadi di daerah patahan. Pada saat bangunan bergetar akibat pengaruh dari gelombang gempa, maka akan timbul

gaya-gaya pada struktur karena adanya kecenderungan dari massa struktur untuk mempertahankan posisinya dari pengaruh gerakan tanah. Beban gempa yang terjadi pada struktur bangunan merupakan gaya inersia.

Besarnya beban gempa yang terjadi tergantung dari faktor:

- Massa dan kekakuan struktur
- Waktu getar alami dan pengaruh redaman struktur
- Kondisi tanah
- Wilayah gempa

2.2.4. Beban konstruksi

Unsur struktur umumnya dirancang untuk beban mati dan beban hidup, akan tetapi unsur tersebut dapat dibebani oleh beban yang jauh lebih besar dari beban rencana ketika bangunan didirikan. Beban ini dinamakan beban konstruksi dan merupakan pertimbangan yang penting dalam rancangan unsur struktur.

2.2.5. Beban hujan

Unsur air jarang diperhitungkan ketika membuat perhitungan beban hidup, faktor ini harus diperhatikan ketika sedang merancang. Beban hujan pada umumnya tidak sebesar beban salju, tetapi harus diingat bahwa adanya akumulasi air. Beban yang besar terjadi pada atap datar karena saluran yang mampat. Dengan menggenangnya air, atap akan mengalami lendutan sehingga air akan semakin mengumpul dan mengakibatkan lendutan yang semakin besar. Proses ini dinamai genangan (ponding) dan akhirnya dapat menyebabkan runtuhnya atap.

2.2.6. Beban angin

Besarnya beban angin yang bekerja pada struktur tergantung dari: kecepatan angin, letak geografis, bentuk dan ketinggian bangunan, serta kekakuan struktur. Bangunan yang berada pada lintasan angin akan menyebabkan angin berbelok atau bahkan berhenti. Akibatnya, energi kinetik dari angin akan berubah menjadi energi potensial yang berupa tekanan atau isapan pada bangunan.

Untuk memperhitungkan pengaruh angin pada struktur, pedoman yang berlaku di Indonesia mensyaratkan beberapa hal sbb:

- Tekanan tiup harus diambil minimum 25 kg/m^2
- Tekanan tiup di laut dan di tepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai harus diambil minimum 40 kg/m^2
- Untuk tempat-tempat dimana terdapat kecepatan angin yang mungkin mengakibatkan tekanan tiup yang lebih besar, tekanan tiup angin (p) dapat ditentukan berdasarkan rumus:

$$p = \frac{V^2}{16} \text{ (kg/m}^2 \text{)}$$

Dimana V adalah kecepatan angin (m/detik)

Beban angin akan menimbulkan tekanan dan isapan. Berdasarkan percobaan, telah ditentukan koefisien-koefisien bentuk tekan dan isap untuk berbagai tipe bangunan dan atap. Tujuan dari penggunaan koefisien-koefisien ini adalah untuk menyederhanakan analisis, dimana besarnya tergantung dari bentuk dan kemiringan atap.

2.3. Desain Struktur

Proses disain struktur dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu: (1) Desain umum, merupakan peninjauan secara garis besar keputusan-keputusan desain. Tipe struktur dipilih dari berbagai alternatif yang memungkinkan. Tata letak struktur, geometri atau bentuk bangunan, jarak antar kolom, tinggi lantai dan material bangunan ditetapkan secara baik dalam tahap ini. (2) Desain terinci, mencakup peninjauan tentang penentuan besar penampang tentang balok, kolom, dan elemen struktur lainnya.

Setiap struktur merupakan perpaduan antara arsitektur dan teknik (rekayasa) sehingga memenuhi fungsi tertentu. Bentuk dan fungsi sangat erat kaitannya dan sistem struktur yang terbaik adalah salah satu yang paling dapat memenuhi kebutuhan calon pemakai disamping *serviceable*, menarik, dan menghemat biaya dari segi ekonomi. Walaupun hampir semua struktur dirancang untuk jangka waktu 50 tahun, struktur yang dibuat dari campuran beton yang baik tercatat mempunyai masa hidup yang lebih lama.

System-sistem beton dibentuk dari berbagai elemen struktur beton yang bila dipadukan menghasilkan suatu system menyeluruh. Secara garis besar, komponen-komponen utama struktur dapat diklasifikasikan atas (1) atap, (2) balok, (3) *slab*, (4) kolom, (5) pondasi.

2.3.1. Balok

Balok adalah batang struktural yang berfungsi menahan gaya-gaya yang bekerja dalam arah transversal terhadap sumbunya, yang mengakibatkan terjadinya lenturan/lendutan. Akibat dari gaya lentur dan gaya lateral ini ada dua hal utama yang dialami balok yaitu kondisi tekan dan tarik.

Berdasarkan jenis keruntuhan yang dialami, apakah akan terjadi leleh tulangan tarik ataukah hancurnya beton yang tertekan dapat dikelompokkan ke dalam tiga kelompok sebagai berikut:

- *Penampang balanced*. Tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan. Pada awal terjadinya keruntuhan, regangan tekan yang diizinkan pada serat tepi yang tertekan adalah 0,003, sedangkan regangan baja sama dengan regangan lelehnya, yaitu

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_c}.$$

- *Penampang over-reinforced*. Keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Pada awal keruntuhan, regangan baja ε_s yang terjadi masih lebih kecil daripada regangan lelehnya ε_y . Kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak daripada yang diperlukan dalam keadaan *balanced*.

- *Penampang under-reinforced*. Keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan baja. Tulangan baja ini terus bertambah panjang dengan bertambahnya regangan di atas ε_y . Kondisi penampang yang demikian dapat terjadi apabila

tulangan tarik yang dipakai pada balok kurang dari yang diperlukan untuk kondisi *balanced*.

Keruntuhan pada beton mendadak karena beton adalah material yang getas. Dengan demikian hampir semua peraturan perencanaan merekomendasikan perencanaan balok dengan tulangan yang bersifat *under-reinforced* untuk memberikan peringatan yang cukup, seperti defleksi yang berlebihan, sebelum terjadinya keruntuhan.

Kuat Lentur Balok

Beban yang bekerja pada struktur, baik yang berupa beban gravitasi (berarah vertikal) maupun beban-beban lain, seperti beban angin, atau juga beban karena susut dan beban karena perubahan temperatur, menyebabkan adanya lentur dan devormasi pada elemen struktur. Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena adanya beban luar. Apabila bebannya bertambah, maka pada balok terjadi devormasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya atau bertambahnya retak lentur di sepanjang bentang balok.

Dalam pemeriksaan penampang balok harus memenuhi kriteria:

- $M_n > M_u$
- $\Phi M_n > M_u$ (2.3.1b)

Dimana: Φ : faktor reduksi akibat kesalahan dalam pelaksanaan

M_n : momen nominal dari penampang

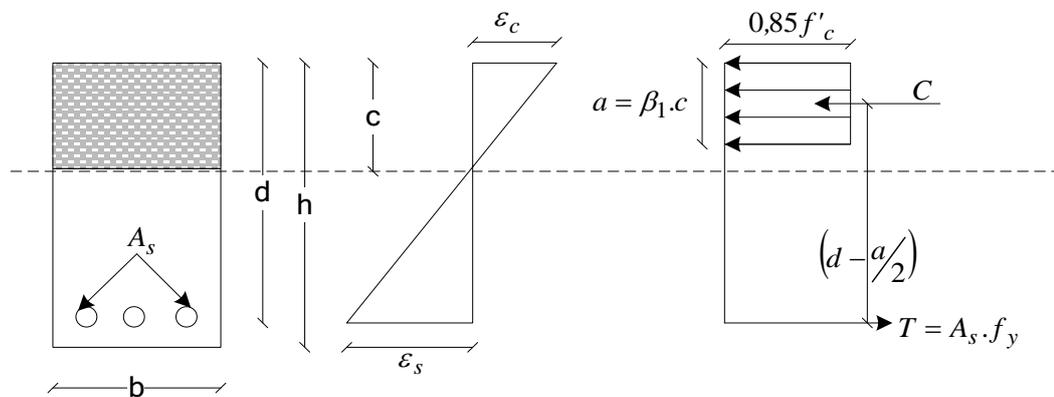
M_u : momen batas terfaktor (1,2 DL + 1,6 LL)

DL = beban mati, LL = beban hidup

Asumsi-asumsi dalam perencanaan penampang balok:

- Regangan baja dan beton berbanding lurus terhadap garis netral.
- Regangan beton yang dipakai adalah regangan batas (*ultimate*) $\epsilon_c = 0,003$.
- Regangan pada baja dan beton di sekitarnya sama sebelum terjadi retak pada beton atau leleh pada baja.
- Modulus elastisitas baja $E_s = 2 \times 10^5$ MPa.
- Beton lemah terhadap tarik. Beton akan retak pada taraf pembebanan kecil, yaitu sekitar 10% dari kekuatan tekannya. Akibatnya bagian beton yang mengalami tarik pada penampang diabaikan dalam perhitungan analisis atau desain, juga tulangan tarik yang ada dianggap memikul gaya tarik tersebut.

Penampang bertulangan tunggal:



Gambar 2.4. Distribusi tegangan regangan penampang bertulangan tunggal

Dengan menggunakan tegangan persegi ekuivalen, kekuatan lentur Mn dapat diperoleh dengan menggunakan gambar 2.3. sebagai berikut:

$$C = 0,85 f'_c b a \dots\dots\dots(2.3.2b)$$

$$T = A_s f_y \quad \dots\dots\dots(2.3.3b)$$

Dimana: C = gaya tekan

T = gaya tarik

b = lebar balok

a = tinggi distribusi tegangan persegi dari muka balok tekan

A_s = luas tulangan tarik

f'_c = kuat tekan beton

f_y = tegangan leleh dari baja

d = tinggi efektif

Pemakaian dari f_y memisalkan bahwa tulangan meleleh sebelum kehancuran beton. Penyamaan $C = T$ menghasilkan:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} \quad \dots\dots\dots(2.3.4b)$$

$$Mn = A_s f_y (d - a/2) \quad \dots\dots\dots(2.3.5b)$$

Dalam keadaan balanced:

Modulus elastisitas beton

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad \dots\dots\dots(2.3.6b)$$

Garis netral kondisi balanced

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d \quad \dots\dots\dots(2.3.7b)$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \text{ atau } \rho_b = \frac{A_s \cdot b}{bd} \quad \dots\dots\dots(2.3.8b)$$

$$\rho_b = \frac{0,85\beta_1 f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \dots\dots\dots(2.3.9b)$$

Dimana: c_b = garis netral kondisi *balanced*

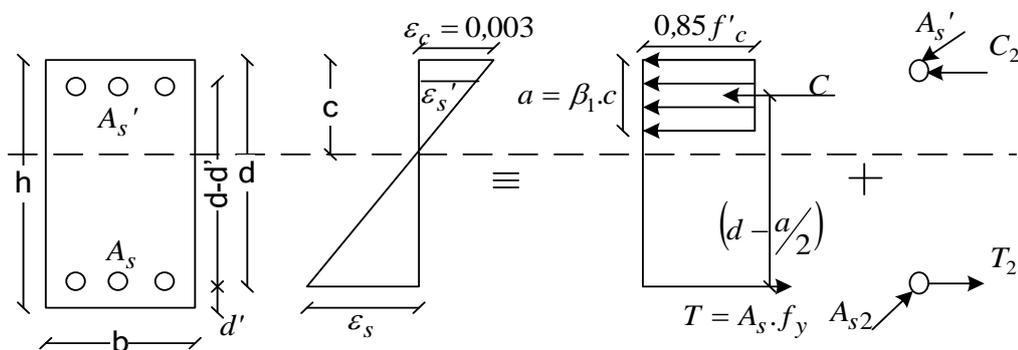
ρ_b = perbandingan tulangan kondisi regangan berimbang

Rasio penulangan ρ harus memenuhi syarat $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$, dimana batasan rasio tulangan maksimum adalah nilai terkecil dari persamaan-persamaan berikut:

$$\rho_{max} = 0,75\rho_b \dots\dots\dots(2.3.10b)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(2.3.11b)$$

Penampang bertulangan rangkap:



Gambar 2.5. Distribusi tegangan - regangan penampang bertulangan rangkap

Penampang persegi dengan penulangan tarik dan tekan dinamakan juga penampang yang “bertulangan rangkap (ganda)”. Oleh karena kekuatan tekan beton adalah relatif tinggi, maka kebutuhan akan tulangan tekan untuk mendapat kekuatan yang cukup tidak begitu besar.

Gaya tarik $T_1 = A_{s1}f_y = C_1$. Akan tetapi, $A_{s1} = A_s - A_s'$ karena syarat keseimbangan mengharuskan A_{s2} yang tertarik harus diimbangi oleh A_s pada sisi yang tertekan. Dengan demikian momen tahanan nominalnya adalah:

$$Mn_1 = A_{s1}f_y\left(d - \frac{a}{2}\right) \text{ atau } Mn_1 = (A_s - A_s')f_y\left(d - \frac{a}{2}\right) \dots\dots\dots(2.3.12b)$$

Dengan: $a = \frac{(A_s - A_s')f_y}{0,85 f'_c b} \dots\dots\dots(2.3.13b)$

$$A_s' = A_{s2} = A_s - A_{s1} \dots\dots\dots(2.3.14b)$$

$$T_2 = C_2 = A_{s2}f_y \dots\dots\dots(2.3.15b)$$

Dimana: A_s' = luas tulangan tekan

C_2 = tambahan gaya tekan akibat tulangan tekan

T_2 = gaya tarik dalam baja untuk mengimbangi C_2

Dengan mengambil momen terhadap tulangan tarik kita peroleh:

$$Mn_2 = A_{s2}f_y(d - d') \dots\dots\dots(2.3.16b)$$

Dengan menjumlahkan momen tahanan nominalnya, diperoleh:

$$Mn = Mn_1 + Mn_2 = (A_s - A_s')f_y\left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' f_y(d - d') \dots\dots\dots(2.3.17b)$$

Kekuatan momen rencana ϕMn harus lebih besar atau sama dengan momen luar rencana Mu , jadi:

$$Mu = \phi \left[(A_s - A_s')f_y\left(d - \frac{a}{2}\right) + aA_s' f_y d(d - d') \right] \dots\dots\dots(2.3.18b)$$

Tulangan tekan leleh jika:

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85\beta_1 f'_c d'}{f_y d} \times \frac{600}{600 - f_y} \dots\dots\dots(2.3.19b)$$

Tegangan tulangan tekan f'_s dapat dihitung sebagai:

$$f'_s = 600 \left[1 - \frac{0,85\beta_1 f'_c}{(\rho - \rho') f_y} \times \frac{d'}{d} \right] \dots\dots\dots(2.3.20b)$$

$$a = \frac{A_s f_y - A_s' f'_s}{0,85 f'_c b} \dots\dots\dots(2.3.21b)$$

Kekuatan momen nominal pada persamaan 5.11 menjadi:

$$Mu = \phi \left[(A_s f_y - A_s' f'_s) \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f'_s (d - d') \right] \dots\dots(2.3.22b)$$

Agar tulangan tekan leleh, kondisi di atas harus terpenuhi:

Kuat Geser Balok

Karena kekuatan tarik beton jauh lebih kecil dibandingkan kekuatan tekannya, maka desain terhadap geser merupakan hal yang sangat penting dalam struktur beton.

Perilaku balok beton bertulang pada keadaan runtuh karena geser sangat berbeda dengan keruntuhan karena lentur. Balok tersebut langsung hancur tanpa adanya peringatan terlebih dahulu, juga retak diagonalnya jauh lebih lebar dibandingkan dengan retak lentur. Perencana harus merancang panampang yang cukup kuat untuk memikul beban geser luar rencana tanpa mencapai kapasitas gesernya.

Penulangan geser pada dasarnya mempunyai empat fungsi utama, yaitu:

1. Memikul sebagian gaya geser luar rencana V_u

2. Membatasi bertambahnya retak diagonal
3. Memegang dan mengikat tulangan memanjang pada posisinya sehingga tulangan memanjang ini mempunyai kapasitas yang baik untuk memikul lentur
4. Memberikan semacam ikatan pada daerah beton yang tertekan apabila sengkang ini berupa sengkang tertutup

Penulangan geser balok didasarkan pada persamaan sebagai berikut ini.

$$\phi V_n \geq V_u \quad \dots\dots\dots(2.3.23b)$$

Dengan V_u adalah gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan V_n adalah kuat geser nominal yang dihitung dari persamaan sebagai berikut ini.

$$V_n = V_c + V_s \quad \dots\dots\dots(2.3.24b)$$

Dengan V_c adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton dan V_s adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser.

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_w d \quad \dots\dots\dots(2.3.25b)$$

Jika $\alpha = 90^\circ$:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad \dots\dots\dots(2.3.26b)$$

Gaya geser miring:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} (\sin \alpha + \cos \alpha) \quad \dots\dots\dots(2.3.27b)$$

dengan: b_w = lebar balok

d = tinggi efektif balok

A_v = luas tulangan geser yang berada dalam rentang jarak s

s = jarak antar sengkang

bila $\phi V_c > V_n > 0,5\phi V_c$

$$\text{tulangan minimum, } A_v = \frac{b_w \cdot S}{3f_y} \dots\dots\dots(2.3.28b)$$

Jarak sengkang, S

$$S \text{ maksimum} = \frac{d}{2} \leq 600\text{mm}$$

$$\text{Jika } V_s > \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$\text{Maka: } S \leq \frac{d}{4} \leq 600\text{mm}$$

Menurut SK SNI 03-2847-2002 pasal 23.10 ayat 4.2, pada kedua ujung komponen struktur lentur harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali tinggi komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada 50 mm dari muka perletakan. Spasi maksimum dari sengkang tidak boleh melebihi:

- a. $d/4$,
- b. delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,
- c. 24 kali diameter sengkang, dan
- d. 200 mm.

Sengkang harus dipasang di sepanjang bentang balok dengan spasi tidak boleh melebihi $d/2$.

2.3.2. Pelat Lantai

Pelat lantai merupakan bidang datar yang lebar, biasanya mempunyai arah horisontal dengan permukaan atas dan bawah yang sejajar serta ditumpu balok atau secara menerus bertumpu pada tanah dan secara langsung didukung oleh kolom. Pelat memikul beban statis dan beban dinamis yang bekerja tegak lurus terhadap permukaan pelat. Untuk merencanakan pelat beton bertulang, yang perlu dipertimbangkan tidak hanya pembebanan, tetapi juga ukuran dan syarat-syarat tumpuan pada tepi.

Berdasarkan kemampuan untuk menyalurkan kekuatan terhadap beban maka struktur pelat dibedakan atas dua jenis yaitu sebagai berikut ini.

- a. Pelat satu arah, adalah pelat yang didukung pada dua tepi yang berhadapan sedemikian sehingga lentur timbul hanya dalam satu arah saja, yaitu pada arah tegak lurus terhadap arah dukungan tepi. Pelat satu arah mempunyai nilai

perbandingan antara sisi panjang dan sisi pendek lebih dari dua atau $\frac{l_y}{l_x} \geq 2$.

- b. Pelat dua arah, adalah pelat yang didukung sepanjang keempat sisinya, dimana lentur akan timbul pada dua arah yang saling tegak lurus. Pelat dua arah mempunyai nilai perbandingan antara sisi panjang dan sisi pendek lebih kecil

dari dua atau $\frac{l_y}{l_x} \leq 2$.

Direncanakan menggunakan pelat dua arah. Langkah-langkah yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut ini.

1. Menentukan syarat-syarat batas dan bentang (I_x dan I_y).

2. Menentukan tebal minimum pelat yang tercantum dalam SK SNI 03-2847-2002 pasal 11.5.3 butir 3 adalah sebagai berikut ini.

a. Untuk $\alpha_m \leq 0,2$ ketebalan pelat minimum adalah sebagai berikut ini.

1) pelat tanpa penebalan : 120 mm

2) pelat dengan penebalan : 100 mm

b. Untuk $0,2 \leq \alpha_m \leq 2,0$ ketebalan pelat minimum harus memenuhi persamaan sebagai berikut ini.

$$h = \frac{\lambda_n \left[0,8 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36 + 5 \cdot \beta \cdot (\alpha_m - 0,2)} \dots\dots\dots(2.3.1c)$$

dan tidak boleh kurang dari 120 mm

c. Untuk $\alpha_m \geq 2,0$ ketebalan pelat minimum harus memenuhi persamaan sebagai berikut ini.

$$h = \frac{\lambda_n \left[0,8 - \frac{f_y}{1500} \right]}{36 - 9 \cdot \beta} \dots\dots\dots(2.3.2c)$$

Dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

dengan:

h = tebal pelat minimum (cm).

F_y = tulangan leleh baja tulangan (MPa).

α = rasio kekuatan lentur penampang balok terhadap kuat lentur pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis sumbu tengah dari panel-panel yang bersebelahan (bila ada) pada tiap sisi balok.

α_m = nilai rata-rata α untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu panel.

β = rasio bentang bersih dalam suatu arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah.

λ_n = panjang bentang bersih dalam arah memanjang dari konstruksi dua arah, diukur dari muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lain pada kasus lainnya.

- d. Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan α tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan persamaan (3.47) atau persamaan (3.48) harus dinaikkan paling tidak 10% pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

$$e. \quad \alpha = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cp} \cdot I_p} \quad \dots\dots\dots(2.3.3c)$$

dengan:

E_{cb} = modulus elastisitas balok beton

E_{cp} = modulus elastisitas pelat beton

I_b = momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok

I_p = momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat

3. Menghitung beban-beban yang dipikul pelat dengan persamaan sebagai berikut ini.

$$W_u = 1,2W_D + 1,6W_L \quad \dots\dots\dots(2.3.4c)$$

dengan : W_u = beban ultimit

W_D = beban mati

W_L = beban hidup

4. Menghitung $k = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} \quad \dots\dots\dots(2.3.5c)$

dengan : k = koefisien tahanan
 M = momen yang ditinjau
 b = lebar permeter pelat
 d = tinggi efektif pelat

5. Menghitung tulangan dengan syarat $\rho_{min} < \rho \leq \rho_{maks}$. Apabila $\rho > \rho_{maks}$ maka perlu menentukan kembali tebal pelat kemudian memilih tulangan, dengan:

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \dots\dots\dots(2.3.6c)$$

Dimana : A_s = luas tulangan
 ρ = rasio tulangan

2.3.3. Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka (*frame*) struktural yang memikul beban dari balok. Kolom meneruskan beban-beban dari elevasi atas ke elevasi yang lebih bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui pondasi. Karena kolom merupakan komponen tekan, maka keruntuhan pada satu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan *collapse* (runtuhnya) lantai yang bersangkutan, dan juga runtuh batas total (*ultimate total collapse*) seluruh strukturnya.

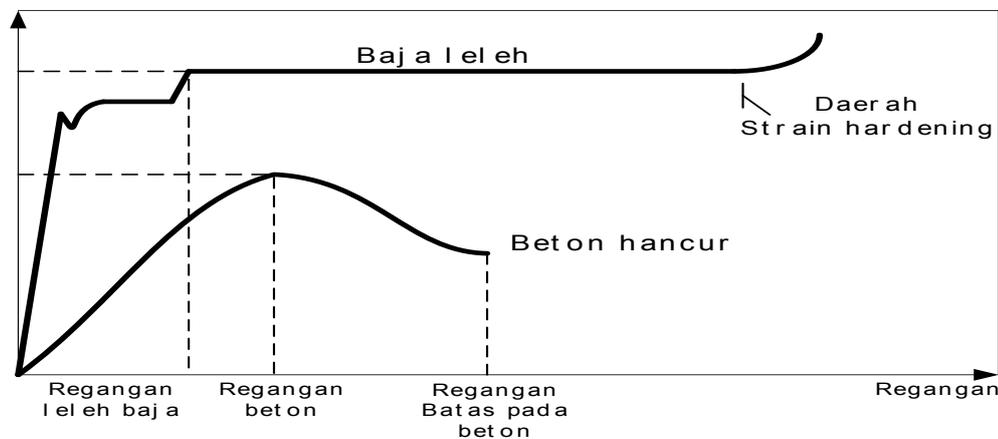
Keruntuhan kolom struktural merupakan hal yang sangat berarti ditinjau dari segi ekonomis maupun segi manusiawi. Dalam merencanakan kolom perlu lebih waspada, yaitu dengan memberikan kekuatan cadangan yang lebih tinggi

daripada yang dilakukan pada balok dan elemen struktural horizontal lainnya, terlebih karena keruntuhan tekan tidak memberikan peringatan awal yang jelas.

Keruntuhan kolom dapat terjadi apabila tulangan bajanya leleh karena tarik, atau terjadinya kehancuran pada beton yang tertekan. Selain itu dapat pula kolom mengalami keruntuhan apabila terjadi kehilangan stabilitas lateral, yaitu terjadi tekuk. Apabila kolom runtuh karena kegagalan materialnya (yaitu lelehnya baja atau hancurnya beton), kolom ini diklasifikasikan sebagai kolom pendek (*short coloumn*).

Kekuatan Kolom Pendek Dengan Beban Sentris

Gambar 2.7 menyajikan pembebanan pada beton dan baja pada saat beban kolom meningkat. Pada awalnya, beton maupun baja berperilaku elastis.



Gambar 2.6. Hubungan tegangan regangan pada beton dan baja (beban sentries)

Pada saat regangan mencapai sekitar 0,003, beton mencapai kekuatan maksimum f'_c . secara teoritis, beban maksimum yang dapat dipikul oleh kolom adalah beban yang menyebabkan terjadinya regangan f'_c pada beton. Penambahan beban lebih lanjut bisa saja terjadi apabila *strain hardening* pada baja terjadi di sekitar regangan 0,003.

Dengan demikian kapasitas beban sentris maksimum pada kolom dapat diperoleh dengan menambahkan kontribusi beton, yaitu $(A_g - A_{st}) 0,85 f'_c$ dan kontribusi baja, $A_{st} f_y$. A_g adalah luas bruto total penampang beton, dan A_{st} adalah luas total tulangan baja = $A_s + A'_s$, yang digunakan dalam perhitungan disini adalah $0,85 f'_c$, bukan f'_c . hal ini disebabkan oleh kekuatan maksimum yang dapat dipertahankan pada struktur aktual mendekati harga $0,85 f'_c$. Dengan demikian, kapasitas beban sentries maksimum adalah P_o yang dapat dinyatakan sebagai:

$$P_o = 0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y \quad \dots\dots\dots(2.3.1d)$$

Untuk mengurangi perhitungan eksentrisitas minimum yang diperlukan dalam analisis dan desain, perlu adanya reduksi beban aksial sebesar 20% untuk kolom bersengkang dan 15% untuk kolom berspiral. Dengan menggunakan factor-faktor ini, kapasitas beban aksial nominal pada kolom tidak boleh diambil lebih besar daripada:

$$P_n(maks) = 0,8 [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y] \quad \dots\dots\dots(2.3.2d)$$

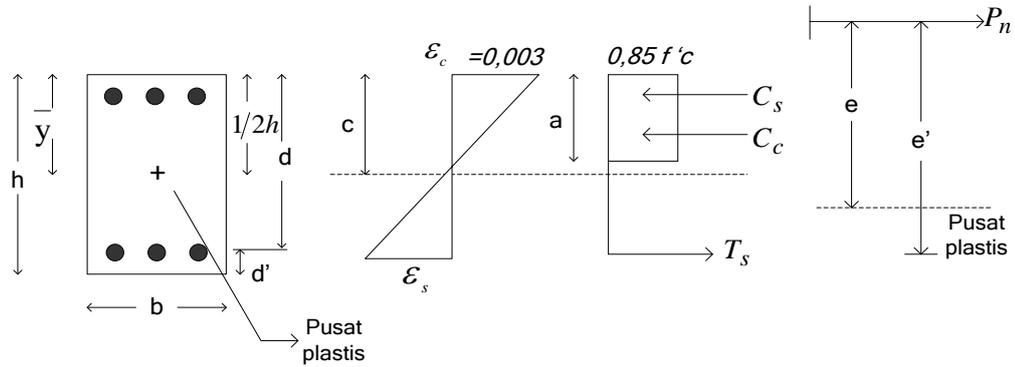
Untuk kolom bersengkang, dan

$$P_n(maks) = 0,85 [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y] \quad \dots\dots\dots(2.3.3d)$$

Untuk kolom berspiral.

Beban rencana: $P_u \leq \phi P_n$.

Kekuatan Kolom Dengan Beban Eksentris: Aksial dan Lentur



Gambar 2.7. Tegangan dan gaya-gaya pada kolom.

Regangan:

$$\epsilon_s = 0,003 \frac{d - c}{c}$$

$$\epsilon_s' = 0,003 \frac{c - d'}{c}$$

Tegangan:

$$f_s = E_s \cdot \epsilon_s \leq f_y$$

$$f_s' = E_s \cdot \epsilon_s' \leq f_y$$

Gaya dalam:

$$C_c = 0,85 f'_c b \cdot a$$

$$C_s = A'_s \cdot f'_s$$

$$T_s = A_s \cdot f_s$$

Eksentrisitas:

$$e = \frac{Mu}{Pu} \dots\dots\dots(2.3.4d)$$

Gaya tahan aksial P_n dalam keadaan runtuh:

$$P_n = C_c + C_s - T_s$$

$$P_n = 0,85 f'_c \cdot b \cdot a + A'_s \cdot f'_s - A_s \cdot f_s \dots\dots\dots(2.3.5d)$$

Momen tahanan nominal $M_n = P_n \cdot e$

$$M_n = P_n \cdot e = C_c \left(\bar{y} - \frac{a}{2} \right) + C_s (\bar{y} - d') + T_s (d - \bar{y}) \dots\dots\dots(2.3.6d)$$

Dimana: c = jarak sumbu netral

\bar{y} = jarak pusat plastis

e = eksentrisitas beban ke pusat plastis

e' = eksentrisitas beban ke tulangan tarik

d' = selimut efektif tulangan tekan

M_u = Momen berfaktor

P_u = Gaya aksial berfaktor

Ragam Kegagalan Dalam Material Pada Kolom

Berdasarkan besarnya regangan pada tulangan baja yang tertarik, penampang kolom dapat dibagi menjadi dua kondisi awal keruntuhan, yaitu:

1. Keruntuhan tarik, yang diawali dengan lelehnya tulangan yang tertarik.
2. Keruntuhan tekan, yang diawali dengan hancurnya beton yang tertekan.

Kondisi *balanced* terjadi apabila keruntuhan diawali dengan lelehnya tulangan yang tertarik sekaligus juga hancurnya beton yang tertekan.

Apabila P_n adalah beban aksial dan P_{nb} adalah beban aksial pada kondisi *balanced*, maka:

$P_n < P_{nb} \rightarrow$ keruntuhan tarik

$P_n = P_{nb} \rightarrow$ keruntuhan *balanced*

$P_n > P_{nb} \rightarrow$ keruntuhan tekan

Keruntuhan *balanced* pada kolom:

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d \quad \dots\dots\dots(2.3.7d)$$

$$a_b = \beta_1 \cdot C_b = \frac{600}{600 + f_y} \beta_1 \cdot d \quad \dots\dots\dots(2.3.8d)$$

$$P_{nb} = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a_b + A'_s \cdot f'_y - A_s \cdot f_y \quad \dots\dots\dots(2.3.9d)$$

$$M_{nb} = P_{nb} \cdot e_b = 0,85 f'_c b \cdot a_b \cdot \left(\bar{y} - \frac{a_b}{2} \right) + A'_s \cdot f'_s (\bar{y} - d') + A_s \cdot f_y (d - \bar{y})$$

.....(2.3.10d)

Dimana $f'_s = 0,003 \text{ Es } \frac{C_b - d'}{C_b} \leq f_y$ (2.3.11d)

Keruntuhan Tarik pada Kolom Segiempat:

Apabila tulangan tekan diasumsikan telah leleh, dan $A'_s = A_s$, maka:

$$P_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \quad \dots\dots\dots(2.3.12d)$$

$$M_n = P_n \cdot e = 0,85 f'_c b \cdot a \left(\bar{y} - \frac{a}{2} \right) + A'_s \cdot f_y (\bar{y} - d') + A_s \cdot f_y (d - \bar{y})$$

atau(2.3.13d)

$$M_n = P_n \cdot e = 0,85 f'_c b \cdot a \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_s \cdot f_y (d - \bar{y})$$

Jika $\rho = \rho' = \frac{A_s}{bd}$

$$P_n = 0,85 f'_c b \left[\left(\frac{h}{2} - e \right) + \sqrt{\left(\frac{h}{2} - e \right)^2 + \frac{2A_s f_y (d - d')}{0,85 f'_c b}} \right] \quad \dots\dots(2.3.14d)$$

Dan jika $m = \frac{f_y}{0,85 f'_c}$, maka :

$$P_n = 0,85 f'_c b d \left[\frac{h - 2e}{2d} + \sqrt{\left(\frac{h - 2e}{2d} \right)^2 + 2m\rho \left(1 - \frac{d'}{d} \right)} \right] \quad \dots\dots(2.3.15d)$$

Keruntuhan Tekan pada Kolom Segiempat:

Agar dapat terjadi keruntuhan yang diawali dengan hancurnya beton, eksentrisitas e gaya normal harus lebih kecil daripada eksentrisitas balanced e_b ,

dan tegangan padatulangan tariknya lebih kecil daripada tegangan leleh, yaitu

$$f_s < f_y.$$

Kuat Geser Kolom

Menurut SK SNI 03-2847-2002 pasal 23.4 ayat 5.1, gaya geser rencana V_e harus ditentukan dengan memperhitungkan gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi pada muka hubungan balok-kolom pada setiap ujung komponen struktur. Gaya-gaya pada muka hubungan balok-kolom tersebut harus ditentukan menggunakan kuat momen maksimum M_{pr} dari komponen struktur tersebut yang terkait dengan rentang beban-beban aksial terfaktor yang bekerja.

Gaya geser rencana V_e pada kolom dapat dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut ini.

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{H} \dots\dots\dots(2.3.16d)$$

dengan:

V_e = gaya geser rencana kolom

M_{pr1} = kuat momen lentur 1

M_{pr2} = kuat momen lentur 2

H = tinggi kolom

Momen-momen ujung M_{pr} untuk kolom tidak perlu lebih besar daripada momen yang dihasilkan oleh M_{pr} untuk balok yang merangka pada hubungan balok-kolom. V_e tidak boleh lebih kecil daripada nilai yang dibutuhkan berdasarkan hasil analisis struktur.

Perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada persamaan sebagai berikut ini.

$$\Phi.V_n \geq V_n + V_c \quad \dots\dots\dots(2.3.17d)$$

Komponen struktur yang dibebani tekan aksial berlaku persamaan sebagai berikut ini.

$$V_c = \left(1 + \frac{Nu}{14.A_g}\right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6}\right) b_w.d \quad \dots\dots\dots(2.3.18d)$$

Pada daerah sepanjang sendi plastis (sepanjang λ_o), SK SNI 03-2847-2002 pasal 23.3 ayat 4.2 mensyaratkan untuk tetap meninjau V_c selama gaya tekan aksial termasuk akibat pengaruh gempa melebihi $A_g.f'_c/20$. Dalam hal ini sangat jarang gaya aksial kolom kurang dari $A_g.f'_c/20$. Sehingga V_c pada daerah sendi plastis bisa tetap diabaikan ($V_c = 0$), hal ini karena meskipun peningkatan gaya aksial meningkatkan nilai V_c tetapi juga meningkatkan penurunan ketahanan geser.

2.3.4. Dinding Geser

Pada denah bangunan tertentu, dinding geser dapat di rangkai dan di letakan di inti bangunan. Sistem penempatan dinding geser seperti ini sering juga di sebut dinding inti (*Core Wall*). Gaya lateral yang bekerja pada struktur, misalnya beban angin atau beban gempa dapat ditahan dengan berbagai cara. Kekakuan dari struktur apabila di tambah dengan kekakuan dari dinding geser akan meningkatkan daya tahan untuk beban angin pada bebrapa kasus, Ketika struktur di rencanakan

untuk menahan beban lateral yang lebih besar, seperti gempa bumi, biasanya digunakan dinding geser pada bangunan gedung.

Dasar perhitungan untuk dinding geser menggunakan pendekatan yang hampir sama dengan teori untuk perhitungan balok, yaitu :

1. Pada *Shear wall* yang mengalami aksial tarik, tegangan didukung sepenuhnya oleh tulangan .

$$A_s = \frac{P}{q_x f_y} \dots\dots\dots (2.56)$$

2. Pada *Shear wall* yang mengalami aksial tekan, tegangan di dukung oleh kuat tekan nominal beton, dan sisanya di dukung oleh tulangan.

$$A_s = \frac{P - (q_x f'_c)}{q_x f_y} \dots\dots\dots (2.57)$$

- Dimana :
- As = Luas tulangan yang di butuhkan
 - P = Gaya aksial yang bekerja pada *Shear wall*
 - f_c = Tegangan nominal dari beton
 - f_y = Tegangan leleh dari baja
 - q = tekan dari 0,6
 - q = tarik dari 0,8

3. Menentukan kuat geser sesuai dengan SNI 03-2847-2002 Pasal 13.10.6 untuk *Shear wall* penahan gempa atau tidak menahan gempa.

$$V_c = \frac{1}{4} \sqrt{f'c} \cdot h d + \frac{N_u \cdot d}{4l_w} \dots\dots\dots(2.58)$$

$$V_c = \left[\frac{1}{2} \sqrt{f'c} + \frac{L_w(\sqrt{f'c} + 2 \frac{N_u}{l_w h})}{\frac{M_u}{V_u} - \frac{L_p}{2}} \right] x \dots\dots\dots(2.59)$$

Dimana nilai V_c diambil yang paling kecil dari kedua persamaan di atas, Dengan N_u adalah negatif untuk tarik, Persamaan di atas tidak berlaku bila $(M_u/V_u - l_w)$ bernilai negatif.

4. Menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 13.10.4 nilai d harus diambil sebesar $0,8 l_w$, sedangkan h adalah ketebalan total *Shear wall*.

Sesuai SNI 03-2847-2002 Pasal 13.10.8 : apabila gaya geser terfaktor V_u adalah kurang dari pada $q V_c/2$ maka tulangan harus disediakan sesuai dengan SNI 03-2847-2002 Pasal 13.10.9 atau sesuai ketentuan dalam SNI 03-2847-2002 Pasal 16, Bila V_u melebihi $q V_c/2$, tulangan geser harus dipasang menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 13.10.9

Ketentuan-ketentuan tambahan khusus untuk *Shear wall* penahan gempa.

- 1) Menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 23.6.2.2 sedikitnya harus dipakai 2 lapis tulangan pada dinding apabila gaya geser terfaktor melebihi

$$(1/6) A_{cv} \sqrt{f'c}$$

- 2) Menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 23.6.2.1 : rasio tulangan trasversal tidak kurang dari 0,0025 dan spasi tulangan masing masing lapis tidak lebih dari 450mm
- 3) Menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 23.6.6.2 bahwa *Shear wall* harus diberi *boundry element* bila :

$$C > \frac{lw}{600 \left(\frac{du}{hw} \right)} \text{ dengan } \frac{du}{hw} \text{ tidak boleh lebih kecil dari } 0,007.$$

2.3.5. Pondasi

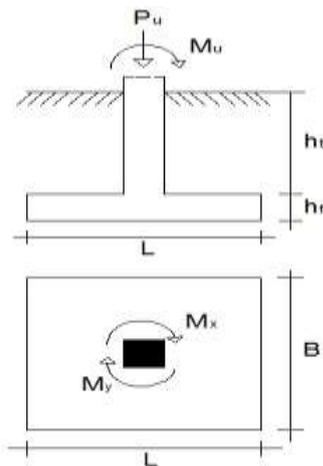
Pondasi adalah bagian dari suatu sistem struktur yang berfungsi memindahkan beban-beban pada struktur atas ke tanah dan batuan yang terletak di bawahnya. Fungsi ini dapat berlaku secara baik apabila kestabilan pondasi terhadap efek guling, geser, penurunan, dan daya dukung. Pada pekerjaan pondasi kegagalan suatu pekerjaan dapat terjadi karena dua macam perilaku struktur pondasi. Pertama, seluruh pondasi atau sebagian elemennya akan masuk terus ke dalam tanah karena tanah tidak mampu menahan beban tanpa keruntuhan, kegagalan ini disebut sebagai kegagalan daya dukung tanah (*bearing capacity failure*). Kedua, tanah pendukung tidak runtuh tetapi penurunan bangunan sangat besar atau tidak sama, sehingga struktur atas retak dan rusak. Kegagalan itu disebut sebagai kegagalan penurunan yang berlebihan.

Jenis-Jenis Pondasi

Pada dasarnya ada enam jenis substruktur fondasi, fondasi-fondasi tersebut harus cukup mempunyai kemampuan memikul beban dari kolom, berat sendiri

sistem fondasi, dan berat tambahan lainnya, tanpa melampaui tekanan tanah yang diizinkan.

1. *Pondasi dinding*. Fundasi demikian terdiri atas jalur *slab* di sepanjang dinding, tebalnya lebih daripada tebal dinding. *Slab* ini dianggap sebagai kantilever yang mengalami beban yang berasal dari tekanan tanah. Panjang *slab* ini ditentukan oleh tekanan daya dukung tanah. Penampang kritisnya terhadap lentur terletak pada muka dinding. Tulangan utamanya terletak dalam arah tegak lurus terhadap arah dinding.
2. *Pondasi telapak* merupakan salah satu jenis pondasi dangkal yang paling sering di jumpai, jenis pondasi ini umumnya di gunakan untuk struktur-struktur ringan dengan dua hingga tiga lantai.



- a. q : Berat pondasi + berat tanah

$$= h_f \gamma_c + h_t \gamma_t$$

- b. Menentukan ukuran pondasi

$$\sigma_{\max} = \frac{P_u}{B.L} + \frac{M_y}{\frac{1}{6}.B.L^2} + \frac{M_x}{\frac{1}{6}.B.L^2} \qquad \sigma_{\min} = \frac{P_u}{B.L} + \frac{M_y}{\frac{1}{6}.B.L^2} - \frac{M_x}{\frac{1}{6}.B.L^2}$$

3. *Pondasi gabungan*. Fundasi demikian menerima beban dari dua atau lebih kolom. Jenis demikian diperlukan apabila kolom dinding harus ada pada garis bangunan, dan *slab* fundasinya tidak dapat terletak pada garis bangunan. Dalam hal demikian, apabila digunakan fundasi yang terisolasi bebas (hanya menerima beban dari satu kolom), akan ada eksentrisitas yang sangat besar, yang dapat mengakibatkan terjadinya tegangan tarik pada tanah di bawahnya.

Agar diperoleh distribusi tegangan yang relatif merata, fundasi untuk kolom dinding luar dapat digabungkan dengan fundasi kolom didekatnya. Selain itu, fondasi gabungan juga digunakan apabila jarak antra kolom yang bersebelahan relatif kecil, seperti halnya kolom di koridor yang akan lebih ekonomis apabila digunakan fundasi gabungan untuk kolom yang berdekatan.

4. *Pondasi kantilever atau strap*. Fundasi ini serupa dengan fundasi gabungan kecuali dalam hal fundasi untuk kolom interior dan eksterior yang dibuat sendiri-sendiri. Masing-masing dihubungkan dengan balok *strap* untuk meneruskan momen lentur yang diakibatkan oleh eksentrisnya beban kolom dinding ke daerah fundasi di bawah kolom interior.
5. *Pondasi tiang*. Jenispondasi ini sangat penting apabila tanahnya lunak sampai kedalaman yang cukup besar. Tiang tersebut apat dipancang sampai kepada batuan yang keras. Atau hanya sampai kepada kedalaman yang cukup untuk memberikan tahanan gesekan (*skin friction*), atau bisa saja gabungan keduanya. Tiang tersebut dapat merupakan tiang pracetak atau

beton pratekan. Jenis tiang lain juga ada seperti misalnya yang dibuat dari bahan baja atau kayu. Untuk semua jenis, tiang tersebut harus mempunyai kepala tiang (pile cap) dari beton yang ditulangi pada kedua arah.

6. *Pondasi rakit atau Pondasi terapung*. Pondasi demikian diperlukan apabila daya dukung tanah yang diizinkan sangat kecil paa kedalaman yang cukup besar sehingga, apabila digunakan fundasi tiang, menjadi tidak ekonomis. Dalam hal ini demikian, penggalian harus dilakukan sampai tekanan dukung tanah ke fundasi cukup dekat dengan tegangan akibat beban dari struktur. Fundasi ini harus terentang diseluruh denah struktur sehingga keseluruhan struktur tersebut dapat dianggap terapung pada rakit. Apabila tanahnya terus-menerus berkonsolidasi, diperlukan substruktur jenis ini yang pada dasarnya merupakan sistem lantai terbalik. Apabila tidak digunakan fundasi rakit, untuk itu diperlukan fundasi tiang yang dipancang sampai ke batuan keras.

Tinjauan Desain Terhadap Lentur

Distribusi penulangan pada pondasi satu arah dan pada pondasi bujursangkar dua arah, tulangan lentur harus secara merata terdistribusi di seluruh lebar pondasi. Pada pondasi segiempat dua arah, momen lentur pada arah pendek diambil sama dengan momen lentur dalam arah yang panjang. Distribusi tulangan ini berbeda untuk arah panjang dan pendek. Tinggi efektif dapat diasumsikan, tanpa kehilangan ketelitian, sama untuk kedua arah meskipun memang sedikit berbeda karena adanya dua lapis tulangan. Berikut ini dicantumkan distribusi tulangan yang direkomendasikan:

1. Tulangan dalam arah panjang harus tersebar merata pada seluruh lebar pondasi.
2. Untuk tulangan dalam arah pendek, sebagian dari tulangan total yang diberikan dalam persamaan (2.3.1f) harus tersebar merata dalam suatu lebar jalur (sumbunya berimpit dengan sumbu kolom atau pedestal) yang sama dengan panjang dari sisi pendek pondasi telapak. Sisa tulangan yang dibutuhkan dalam arah pendek harus disebarkan merata di luar jalur tersebut.

$$\frac{\text{Tulangan pada lebar jalur}}{\text{Tulangan total arah memendek}} = \frac{2}{(\beta + 1)} \dots\dots\dots(2.3.1f)$$

dimana β adalah angka perbandingan sisi panjang dengan sisi pendek.

Tebal pondasi di atas tulangan bawah tidak boleh kurang dari 150 mm untuk pondasi di atas tanah, ataupun kurang dari 300 mm untuk pondasi di atas ring.

Tinjauan Desain Terhadap Geser

Perilaku pondasi terhadap geser tidak berbeda dengan balok dan *slab*. Dengan demikian prinsip-prinsip dan persamaan-persamaan mengenai geser dan tarik diagonal dapat digunakan dalam desain pondasi.

Kuat geser pondasi telapak pada dasarnya adalah mengandalkan kuat geser dua arah (geser pons). Dalam hal tanpa ada tulangan geser ada enam variable yang mempengaruhi kuat plat pondasi telapak yaitu:

- (1). Kuat beton tanpa tulangan.
- (2). Perbandingan antara lebar pondasi yang ditinjau.
- (3). Hubungan V/M , antara gaya geser dengan momen lentur sekitar irisan kritis.

- (4). Bentuk kolom, dinyatakan dengan $\beta c = \frac{\text{sisi panjang}}{\text{sisi pendek}}$ dari kolom segiempat.
- (5). Tahanan lateral seperti mungkin dihasilkan oleh balok-balok kaku sepanjang batas-batas plat. Dalam pondasi telapak umumnya tidak ada tahanan lateral.
- (6). Kecepatan pembebanan.

Dengan mengasumsikan bahwa tujuan perencanaan adalah mencapai suatu kuat geser yang cukup tinggi maka kemungkinan keruntuhan akan terjadi dalam suatu moda lentur tanpa tahanan lateral dari sebab statis dari beban dinamis, kuat geser dapat ditentukan dengan acuan SK SNI-T-15-1993-03 PASAL 3.4.3.1, dengan ketentuan sebagai berikut:

- (1). Untuk komponen struktur yang hanya dibebani oleh geser dan lentur

$$V_c = \sqrt{\frac{f'_c}{6}} b_w \times d \quad \dots\dots\dots(2.3.2f)$$

- (2). Untuk komponen yang dibebani tekanan

$$V_c = 2 \times \left[1 - \frac{Nu}{14 \times A_g} \times \left(f'_c \times \frac{1}{6} \right) \right] \times b_w \times d \quad \dots\dots\dots(2.3.3f)$$

b_w = lebar beban balok, atau diameter dan penampang bulat, mm

βc = rasio sisi yang panjang dengan sisi yang pendek dari beban terpusat atau muka tunpuan.

Nu = beban aksial bekerja secara normal terhadap panampang dengan besarnya dinyatakan dengan Vc.

A_g = luas bruto penampang (mm²)

d = jarak blok tekan terhadap sumbu tulangan tarik plat beton.

b_o = keliling dari penampang pondasi.

Sesuai pasal 3.4.11 2 SK SNI-T-15-1993-03 (01), untuk plat dan pondasi telapak non pratekan:

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{B}\right) \times (\sqrt{f'_c}) \times \frac{1}{6} \times b_o \times d \quad \dots\dots\dots(2.3.4f)$$

$$d \geq 0,8 \times h, \dots (h = \text{tinggi/tebal plattotal})$$

$$\phi V_n = \phi V_c$$

Maka, $V_u > \phi V_n$

Tabel 2.3. Hubungan N (“standard netration resistance”) dan tegangan ijin tanah

Keadaan konsistensi	N	$\bar{\sigma}_{\text{tanah}} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
Sangat lembek	0 – 2	0,00 – 0,30
Lembek	2 – 4	0,30 – 0,60
Sedang	4 – 8	0,60 – 1,20
Keras	8 – 15	1,20 – 2,40
Sangat keras	15 – 30	2,40 – 4,80
Keras sekali	30	4,80

2.3.6. Struktur rangka terbuka (open frame)

Struktur rangka terbuka (open frame) merupakan struktur berupa kerangka yang terdiri dari kolom dan balok yang merupakan rangkaian yang menjadi satu kesatuan yang kuat, pada sistem rangka ini dinding penyekat tidak di perhitungkan ikut mendukung beban jadi fungsinya hanya sebagai pembatas ruangan saja, oleh karena itu ukurannya harus di buat sekecil mungkin agar beratnya dapat seringan ringanya. Dengan demikian ukuran rangka portal dan fondasinya akan menjadi lebih kecil.

2.4 Analisa Struktur Menggunakan Program ETABS versi.15.2.2.

Program ETABS adalah salah satu *software* yang banyak digunakan dalam menganalisis perhitungan struktur gedung bertingkat tinggi. Seiring dengan perkembangannya perangkat keras computer, terutama prosesor yang mempunyai kemampuan kecepatan semakin tinggi, perangkat lunak juga berkembang mengikuti kemajuan perangkat keras. Keunggulan ETABS v.15.2.2 antara lain ditunjukkan dengan adanya fasilitas untuk *input* beban hidup dan mati secara area. Maka secara otomatis beban tersebut didefinisikan kedalam bentuk beban segita dan trapesium.

Pada umumnya, perancangan model struktur frame dengan ETABS v.9.7.0 ini melalui 6 tahapan yaitu :

1. Menentukan geometri struktur
2. Mendefinisikan data-data
 - a. jenis dan kekakuan bahan
 - b. Dimensi penampang elemen struktur
 - c. Macam-macam beban
 - d. Kombinasi pembebanan
3. Menetapkan (Assign) data-data yang telah didefinisikan ke model struktur
4. Memeriksa input data
5. Analisis mekanika teknik
6. Modifikasi struktur/ReDesign.

Salah satu kelebihan program ini adalah kita tidak hanya berhenti pada analisa struktur (untuk mengetahui gaya dalam yang timbul) saja, tapi juga bisa melanjutkan ke bagian check/desain struktur untuk mengetahui luas tulangan lentur dan geser untuk balok, dengan terlebih dahulu melakukan konversi reduksi dari *ACI* ke *SNI*.