

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pendahuluan

Tujuan utama dari perencanaan struktur adalah memberikan kekuatan pada suatu bangunan. Oleh karena itu struktur bangunan dipengaruhi oleh beban mati (*dead load*) berupa berat sendiri, beban hidup (*live load*) berupa penurunan pondasi, tekanan tanah atau air, pengaruh temperatur dan beban akibat gempa. Dan perencanaan struktur gedung ini meliputi struktur atas yaitu perencanaan rangka atap, pelat lantai, kolom, balok, dan *core wall*.

Beban merupakan faktor utama yang mempengaruhi perencanaan struktur suatu bangunan. Beban yang mungkin terjadi harus benar-benar diperhatikan, sebab kesalahan perhitungan beban akan menyebabkan konstruksi gedung akan mengalami kegagalan (runtuh). Suatu beban yang bertambah dan berkurang menurut secara berkala disebut beban bergoyang, beban ini sangat berbahaya apabila periode penggoyangannya berimpit dengan periode struktur dan apabila beban ini diterapkan pada struktur selama kurun waktu yang cukup lama, dapat menimbulkan lendutan. Lendutan yang melampaui batas yang direncanakan dapat merusak struktur bangunan tersebut.

2.2 Ketentuan Perencanaan Pembebanan

Adapun acuan yang digunakan dalam merencanakan pembebanan adalah sebagai berikut:

1. Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (SNI 03-2847-2013).

2. Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung (SNI 1726:2012).
3. Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727:2013).
4. Pedoman perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung (SKBI – 1.3.53.1987)

2.3 Jenis Pembebanan

Dalam merencanakan struktur bangunan bertingkat, digunakan struktur yang mampu mendukung berat sendiri, gaya angin, beban hidup maupun beban khusus yang bekerja pada struktur bangunan tersebut. Adapun pembebanan yang dihitung adalah sebagai berikut:

2.3.1 Beban Mati (DL)

Beban mati ialah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin – mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.

Tabel 2.1 Berat Sendiri Bahan bangunan dan Komponen Gedung

Material Gedung	Berat (kg/m ³)
Baja	7850
Batu alam	2600
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat teumpuk)	1500
Batu karang (berat tumpuk)	700
Batu pecah	1450
Besi tuang	7250
Beton	2200
Beton Bertulang	2400
Kayu (kelas I)	1000
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1650
Pasangan bata merah	1700
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200
Pasangan batu cetak	2200

Pasangan batu karang	1450
Pasir (kering udara sampai lembab)	1600
Pasir (jenuh air)	1800
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1850
Tanah lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1700
Tanah lempung dan lanau (basah)	2000
Timah hitam	11400
Komponen Gedung	Kg/m²
Adukan, per cm tebal	
- Dari semen	21
- Dari kapur, semen merah atau tras	17
Aspal, termasuk bhan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14
Dinding pasangan bata merah	
- Satu bata	450
- Setengah bata	250
Dinding pasangan batako	
Berlubang :	
- Tebal dinding 20 cm (HB 20)	200
- Tebal dinding 10 cm (HB 10)	120
Tanpa Lubang :	
- Tebal dinding 15 cm	300
- Tebal dinding 10 cm	200
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari :	
- Semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	11
- Kaca, dengan tebal 3 – 5 mm	10
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m ²	40
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,80 m	7
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m ² bidang atap	50
Penutup atas sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	40
Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa gordeng	10
Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11

2.3.2 Beban Hidup (LL)

Beban hidup adalah 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 yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung 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.

1. Beban hidup pada lantai gedung

Beban hidup yang digunakan mengacu pada standar **PPURG tahun 1987**, yaitu sebesar 250 kg/m^2 .

2. Beban hidup pada atap gedung

Beban hidup yang digunakan mengacu pada standar **PPURG tahun 1987**, yaitu sebesar 100 kg/m^2 .

2.3.3 Beban Angin (W)

Struktur yang ada pada lintasan angin akan menyebabkan angin berbelok atau dapat berhenti. Sebagai akibatnya, energi kinetik angin akan berubah bentuk menjadi energi potensial yang berupa tekanan atau isapan pada struktur. Besar tekanan atau isapan yang diakibatkan oleh angin pada suatu titik bergantung pada kecepatan angin, rapat massa udara, lokasi yang ditinjau pada struktur, perilaku permukaan struktur, bentuk geometris, dimensi dan orientasi struktur, dan kelakuan keseluruhan struktur.

Salah satu faktor yang mempengaruhi besar gaya yang ada pada saat udara bergerak disekitar benda adalah kecepatan angin. Kecepatan angin rencana untuk berbagai lokasi geografis ditentukan dari observasi empiris Kecepatannya sekitar 60 mph (96 km/jam) sampai sekitar 100 mph (161 km/jam) dan didaerah pantai sekitar 120 mph (193 km/jam). Kecepatan rencana biasanya didasarkan atas periode 50 tahun. Karena kecepatan angin akan semakin tinggi dengan ketinggian di atas tanah, maka tinggi kecepatan rencana juga demikian. Selain itu perlu juga diperhatikan apakah bangunan itu terletak diperkotaan atau di pedesaan. Analisis yang lebih rumit juga memasukkan embusan yang merupakan fungsi dari ukuran dan tinggi struktur, kekasaran permukaan, dan benda-benda lain disekitar struktur. Peraturan bangunan lokal harus diperhatikan untuk menentukan beban angin atau kecepatan rencana.

Bedasarkan **PPUG 1987** untuk menghitung pengaruh angin pada struktur dapat disyaratkan sebagai berikut :

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

$$p = \frac{v^2}{16} (\text{kg} / \text{m}^2) \quad (2.3.1)$$

Dimana v adalah kecepatan angin (m/detik).

Sedangkan koefisien angin untuk gedung tertutup :

a. Dinding vertikal

- Di pihak angin + 0,9
- Di belakang angin - 0,40

b. Atap segitiga dengan sudut kemiringan α

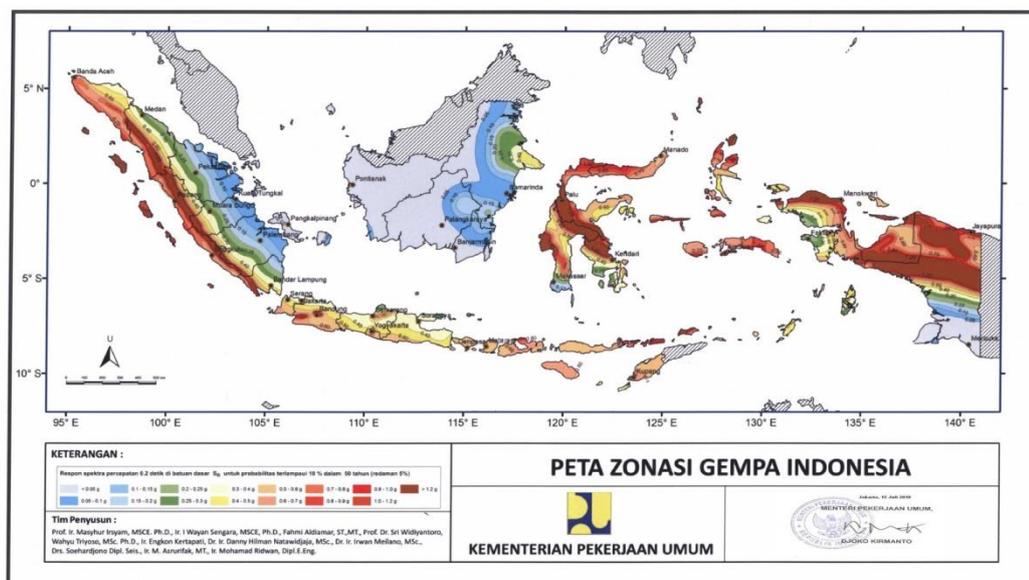
- Dipihak angin : $\alpha < 65^\circ$ 0,02 α -0,4
- $65^\circ < \alpha < 90^\circ$ + 0,90
- Dibelakang angin, untuk semua α - 0,40

2.3.4 Beban Gempa

Gempa bumi adalah fenomena getaran yang dikaitkan dengan kejutan pada kerak bumi. Beban kejut ini dapat disebabkan oleh banyak hal, tetapi salah satu yang utama adalah benturan pergesekan kerak bumi yang mempengaruhi permukaan kerak bumi. Lokasi gesekan ini terjadi disebut *fault zones*. Kejutan yang berkaitan dengan benturan tersebut menjalar dalam bentuk gelombang. Gelombang ini menyebabkan permukaan bumi dan bangunan di atasnya bergetar. Pada saat bangunan bergetar, timbul gaya-gaya pada struktur bangunan karena adanya kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya dari gerakan. Gaya yang timbul ini disebut inersia. Besar gaya-gaya tersebut bergantung pada banyak faktor. Massa bangunan merupakan faktor yang paling utama karena gaya tersebut melibatkan inersia. Faktor lain adalah bagaimana massa tersebut terdistribusi, kekakuan struktur, kekakuan tanah, jenis Pondasi, adanya mekanisme redaman pada bangunan, dan tentu saja perilaku dan besar

getaran itu sendiri. Yang terakhir ini sulit ditentukan secara tepat karena sifatnya yang acak (*random*) sekalipun kadangkala dapat juga tertentu. Massa dan kekakuan struktur, juga periode alami getaran yang berkaitan, merupakan faktor terpenting, yang mempengaruhi respon keseluruhan struktur terhadap gerakan dan besar serta perilaku gaya-gaya yang timbul sebagai akibat gerakan tersebut. Salah satu cara untuk memahami fenomena-fenomena yang terlibat dapat ditinjau terlebih dahulu bagaimana suatu struktur kaku memberikan respon terhadap gerak getaran sederhana. Struktur mempunyai fleksibilitas seperti umumnya struktur gedung.

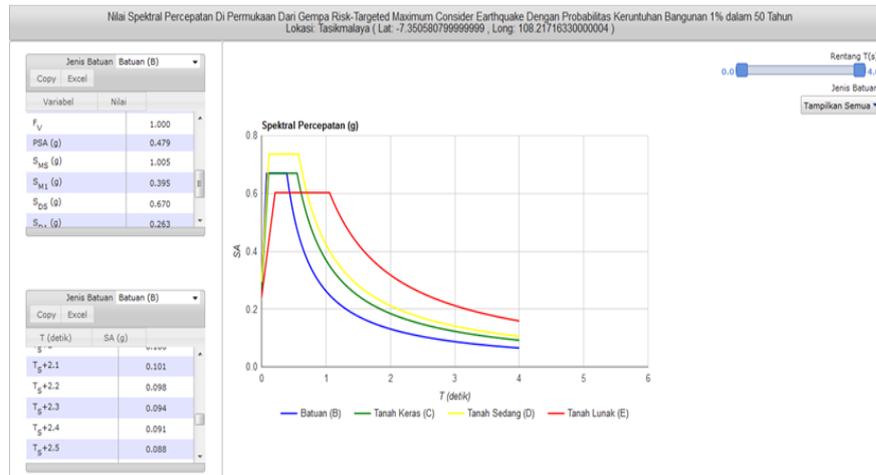
Secara umum dalam peraturan SNI-1726-2012 proses garis besarnya masih sama, namun zonasi gempanya sudah lebih detail (halus) dibandingkan peraturan SNI-1726-2002. Tiap kota atau tempat di Indonesia akan memiliki grafik spectrum respons masing-masing, tidak hanya terbatas pada 6 Wilayah Gempa seperti sebelumnya.



Gambar 2.1 Peta Zonasi Gempa Indonesia

Untuk mengetahui grafik spektrum respons gempa menggunakan program grafik gempa yang tersedia pada website resmi :

http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/



Gambar 2.2 Grafik Spektrum Respons Gempa Kota Tasikmalaya

Prosedur analisis dan desain sismik yang digunakan dalam perencanaan struktur bangunan gedung dan komponennya harus seperti yang ditetapkan dalam pasal 7 SNI-1726-2012. Struktur bangunan gedung harus memiliki sistem penahan gaya lateral dan vertikal yang lengkap, yang mampu memberikan kekuatan, kekakuan, dan kapasitas disipasi energi yang cukup untuk menahan gerak tanah desain dalam batasan-batasan kebutuhan deformasi dan kekuatan yang disyaratkan. Gerak tanah desain harus diasumsikan terjadi di sepanjang setiap arah horizontal struktur bangunan gedung. Kecukupan system struktur harus ditunjukkan melalui pembentukan model matematik dan pengevaluasian model tersebut untuk pengaruh gerak tanah desain. Gaya gempa desain, dan distribusinya di sepanjang ketinggian struktur bangunan gedung, harus ditetapkan berdasarkan salah satu prosedur yang sesuai dan gaya dalam serta deformasi yang terkait pada komponen elemen struktur tersebut harus ditentukan. Prosedur alternatif yang disetujui tidak boleh dipakai untuk menentukan gaya gempa dan

distribusinya kecuali bila gaya-gaya dalam dan deformasi yang terkait pada komponen/elemen strukturnya ditentukan menggunakan model yang konsisten dengan prosedur yang diadopsi.

Beban gempa di dapat dari hasil perhitungan gaya geser dasar seismik V yang diperoleh dari rumus :

$$V = C_s \cdot W \quad (2.3.2)$$

Keterangan :

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

Koefisien respons seismik C_s , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_c}\right)} \quad (2.3.3)$$

Keterangan :

S_{DS} = parameter percepatan spectrum respons desain dalam rentang perioda pendek

R = faktor modifikasi respons

I_c = faktor keutamaan gempa

Pada Distribusi vertikal gaya gempa, gaya gempa lateral (F_x) (kN) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (2.3.4)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2.3.5)$$

Keterangan :

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur, dinyatakan dalam kilonewton (kN)

w_i dan w_x = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x , dinyatakan dalam meter (m)

k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :

untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$ untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

Sedangkan pada distribusi horizontal gaya gempa, geser tingkat desain gempa di semua tingkat (V_x) (kN) harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (2.3.6)$$

Keterangan :

F_i adalah bagian dari geser dasar seismic (V) yang timbul di tingkat i , dinyatakan dalam kilo newton (kN)

Geser tingkat desain gempa (V_x) (kN) harus didistribusikan pada berbagai elemen vertikal system penahan gaya gempa di tingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relative elemen penahan vertikal dan diagfragma.

2.3.5 Beban Hujan, Salju dan Es

Beban salju hanya perlu dipertimbangkan untuk atap dan daerah lain pada bangunan yang mengumpulkan salju seperti pada peralatan terbuka, balkon dan teras. Beban salju, seperti disyaratkan oleh peraturan, didasarkan atas salju maksimum pada tanah. Pada umumnya beban ini lebih tinggi dari pada beban salju yang bekerja pada atap karena angin akan meniup salju yang longgar dari atap atau salju akan mencair dan menguap karena kehilangan panas melalui kulit atap. Persyaratan bangunan biasanya membolehkan pengurangan persentase dari nilai beban pada atap pelana karena salju dapat meluncur dari atap tersebut. Akan tetapi, beberapa kondisi atap dapat mempengaruhi perilaku angin yang kemudian menghasilkan akumulasi beban salju setempat.

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 akan menghasilkan beban yang cukup besar. 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.

2.4 Kombinasi Pembebanan

Dengan mengacu pada kombinasi pembebanan Menurut pasal 9.2 **SNI-2847-2013**, Agar struktur dan komponen struktur memenuhi syarat kekuatan dan layak pakai terhadap bermacam – macam kombinasi beban, maka harus dipenuhi ketentuan dari kombinasi – kombinasi beban berfaktor sebagai berikut :

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

$$U = 1,4 D \quad (2.4.1)$$

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

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R) \quad (2.4.2)$$

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:

$$U = 1,2 D + 1,6 (A \text{ atau } R) + (1,0 L \text{ atau } 0,5 W) \quad (2.4.3)$$

$$U = 1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (A \text{ atau } R) \quad (2.4.4)$$

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

$$U = 0,9 D \pm 1,0 W \quad (2.4.5)$$

Perlu dicatat bahwa untuk setiap kombinasi beban D , L , dan W , kuat perlu U tidak boleh kurang dari Pers. (2.4.2)

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

$$U = 0,9 D \pm 1,0 E \quad (2.4.6)$$

Dalam hal ini nilai E ditetapkan berdasarkan ketentuan **SNI -1726 - 2012** tentang standar perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung.

Keterangan :

U = Kombinasi beban terfaktor

D = Beban mati (*Dead Load*)

L = Beban hidup (*Live Load*)

A = Beban hidup atap

R = Beban air hujan

W = Beban angin (*Wind Load*)

E = Beban gempa (*Earth Quake Load*)

2.4.1 Sistem Bekerjanya Beban

Bekerjanya beban untuk bangunan bertingkat berlaku sistem gravitasi, yaitu elemen struktur yang berada di atas akan membebani elemen struktur di bawahnya, atau dengan kata lain elemen struktur yang mempunyai kekuatan lebih kecil.

Dengan demikian sistem bekerjanya beban untuk elemen-elemen struktur gedung bertingkat secara umum dapat dinyatakan sebagai berikut : beban pelat lantai didistribusikan terhadap balok anak dan balok portal, beban balok portal didistribusikan ke kolom dan beban kolom kemudian diteruskan ke tanah dasar melalui pondasi.

2.5 Faktor Keamanan

Agar dapat terjamin bahwa suatu struktur yang direncanakan mampu menahan beban yang bekerja, maka pada perencanaan struktur digunakan faktor keamanan tertentu. Faktor keamanan ini terdiri atas 2 jenis, yaitu :

1. Faktor keamanan yang berkaitan dengan beban luar yang bekerja pada struktur, disebut faktor beban.
2. Faktor keamanan yang berkaitan dengan kekuatan struktur (gaya dalam), disebut faktor reduksi kekuatan (ϕ).

2.5.1 Faktor Reduksi Kekuatan

Ketidakpastian kekuatan bahan terhadap pembebanan pada komponen struktur dianggap sebagai faktor reduksi kekuatan (ϕ), yang nilainya ditentukan menurut pasal 11.3 SNI – 2847 – 2013 sebagai berikut :

1. Reduksi kekuatan lentur, tanpa beban aksial : 0,90
2. Beban aksial, dan beban aksial dengan lentur:
 - (a) Reduksi beban aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur : 0,90
 - (b) Reduksi beban aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur:
 - Komponen struktur dengan tulangan spiral : 0,75
 - Komponen struktur lainnya : 0,65
3. Reduksi untuk geser dan torsi : 0,75
4. Tumpuan pada beton : 0,65
5. Daerah angkur pasca tarik : 0,85
6. Model strat dan pengikat, dan strat, pengikat, daerah pertemuan (nodal), dan daerah tumpuan dalam model tersebut : 0,75
7. Penampang lentur dalam komponen struktur pratarik dimana penanaman *strand* kurang dari panjang penyaluran :
 - (a) Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer : 0,75
 - (b) Dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran
 - ϕ boleh ditingkatkan secara linier dari : 0,75-0,90

2.6 Perencanaan Struktur Atas

Proses disain elemen 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.

Struktur harus mampu memikul beban rancang secara aman tanpa kelebihan tegangan pada material dan mempunyai deformasi yang masih dalam daerah yang diizinkan. Kemampuan suatu struktur untuk memikul beban tanpa ada kelebihan tegangan diperoleh dengan menggunakan faktor keamanan dalam desain elemen struktur. Dengan memilih ukuran serta bentuk elemen dan bahan yang digunakan, taraf tegangan pada struktur dapat ditentukan pada taraf yang dipandang masih dapat diterima secara aman, dan sedemikian hingga kelebihan tegangan pada material (misalnya ditunjukkan dengan adanya retak) tidak terjadi. Untuk melakukan analisis maupun desain elemen struktur perlu ditetapkan kriteria yang dapat digunakan sebagai ukuran maupun untuk menentukan apakah struktur tersebut dapat diterima untuk penggunaan yang diinginkan atau untuk maksud desain tertentu. Pada umumnya, kriteria-kriteria yang ditetapkan yaitu kemampuan layan, efisiensi, konstruksi, harga, kriteria berganda dan lain-lain.

Struktur bangunan gedung terdiri dari elemen-elemen struktur yang menyatu menjadi satu kesatuan struktur bangunan Gedung yang utuh. Pada

dasarnya, elemen-elemen struktur pada bangunan gedung yaitu pelat, tangga, balok, kolom, dan pondasi.

2.6.1 Rangka Atap Struktur Baja

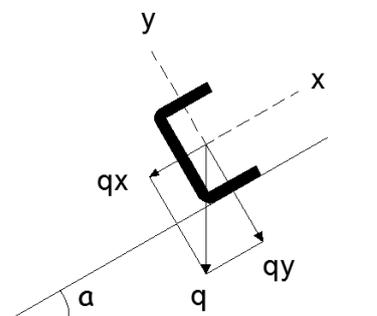
Atap merupakan struktur yang paling atas dari suatu bangunan gedung. Struktur atap dapat terbuat dari kayu, beton ataupun dari baja. Dalam tinjauan ulang kekuatan struktur gedung Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Siliwangi ini struktur atap yang digunakan adalah struktur baja.

Dengan bantuan program ETABS v 13.1.1, gaya-gaya batang dari rangka dapat dihitung untuk kemudian menentukan dimensi struktur. Untuk persyaratan perencanaan konstruksi baja adalah:

1. Perencanaan panjang panjang *truss*
2. Perencanaan gording
3. Pembebanan

2.6.1.1 Beban Mati (DL)

Gording ditempatkan tegak lurus bidang penutup atap dan beban mati q_x bekerja vertikal, q diuraikan pada sumbu X dan sumbu Y, sehingga diperoleh :



Gambar 2.3 Gaya kerja pada gording

$$q_x = q \cdot \sin \alpha \quad (2.6.1)$$

$$q_y = q \cdot \cos \alpha \quad (2.6.2)$$

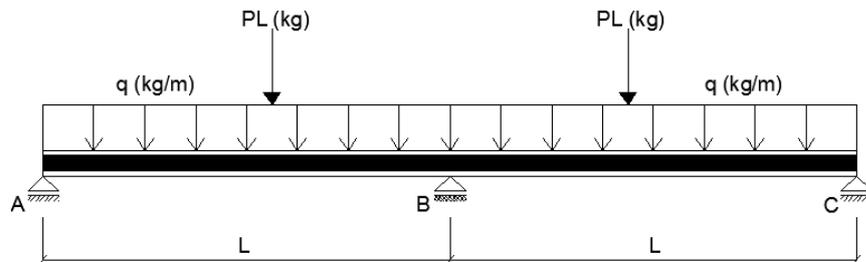
Keterangan :

q_x : Beban mati arah x

q_y : Beban mati arah y

α : Sudut kemiringan

Gording diletakkan di atas beberapa tumpuan (kuda-kuda), sehingga merupakan balok menerus.



Gambar 2.4 Gaya yang bekerja pada beban mati

Momen maksimum akibat beban mati :

$$M_x = 1/8 \cdot q_x \cdot (l)^2 \quad (2.6.3)$$

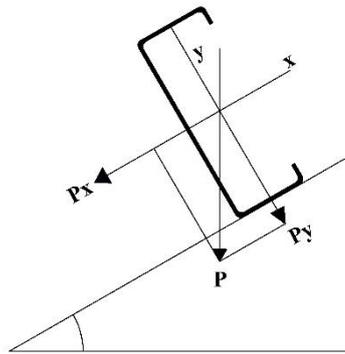
$$M_y = 1/8 \cdot q_y \cdot (l)^2 \quad (2.6.4)$$

Dimana :

M_x : Momen maksimum arah x

M_y : Momen maksimum arah y

2.6.1.2 Beban Hidup (LL)



Gambar 2.5 Gaya yang bekerja pada beban hidup

Beban hidup adalah beban terpusat yang bekerja di tengah-tengah bentang gording, beban ini diperhitungkan jika ada orang yang bekerja di atas gording. Besarnya beban hidup diambil dari PPURG 1987, $P = 100$ kg

$$P_x = P \cdot \sin a \quad (2.6.5)$$

$$P_y = P \cdot \cos a \quad (2.6.6)$$

Dimana :

P_x : Beban hidup arah x

P_y : Beban hidup arah y

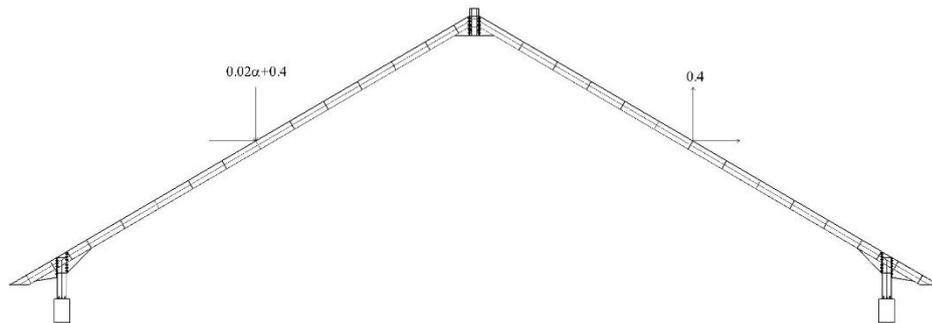
Momen yang timbul akibat beban terpusat dianggap sebagai momen *Continous Beam*.

$$M_x = 1/4 \cdot P_x \cdot l \quad (2.6.7)$$

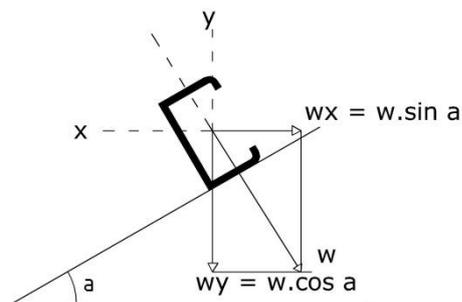
$$M_y = 1/4 \cdot P_y \cdot l \quad (2.6.8)$$

2.6.1.3 Beban Angin (W)

Beban angin diperhitungkan dengan menganggap adanya tekanan positif (tiup) dan tekanan negatif (hisap), yang bekerja tegak lurus pada bidang atap. Menurut PPPURG 1987, tekanan tiup harus diambil minimal 25 kg/m^2 .



Gambar 2.6 Koefisien angin tekan dan hisapan



Gambar 2.7 Gaya kerja beban angin

1. Kemiringan atap $= (\alpha = 30^\circ)$
 2. Jarak antar gording $= (A1)$
 3. Daerah jauh dari tepi laut, diambil minimum 25 kg/m^2
 4. Koefisien angin tekan $= 0,02 (\alpha) - 0,4$ (2.6.9)
 5. Koefisien angin hisap $= -0,4$ (2.6.10)
 6. Angin tekan $= (0,02 \times (\alpha) - 0,4) \times 25 \times A1$
- $$W_{tx} = W \times \sin \alpha$$
- (2.6.11)
- $$W_{ty} = W \times \cos \alpha$$
- (2.6.12)

$$7. \text{ Angin hisap} = -0,4 \times 25 \times A1$$

$$W_{tx} = W \times \sin \alpha$$

$$W_{ty} = W \times \cos \alpha$$

2.6.1.4 Kontrol Tegangan

Akibat Beban Mati + Beban Hidup

$$\sigma = \frac{Mx}{Wy} + \frac{My}{Wx} \leq \bar{\sigma} = 1666 \text{ kg/cm}^2 \quad (2.6.13)$$

Akibat Beban Mati + Beban Hidup + Beban Angin

$$\sigma = \frac{Mx}{Wy} + \frac{My}{Wx} \leq 1,3 \cdot \bar{\sigma} = 1666 \text{ kg/cm}^2 \quad (2.6.14)$$

Dimana :

σ : Tegangan yang bekerja

$\bar{\sigma}$: Tegangan ijin maksimal

Wx : Beban arah x

Wy : Beban arah y

2.6.1.5 Kontrol Lendutan

Lendutan yang diijinkan untuk gording (pada arah x terdiri 2 wilayah yang ditahan oleh trakstang).

$$fx = \frac{5 \cdot qx \cdot L^4}{348 \cdot E \cdot Iy} + \frac{1 \cdot Px \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot Iy} \quad (2.6.15)$$

$$fy = \frac{5 \cdot qy \cdot L^4}{348 \cdot E \cdot Ix} + \frac{1 \cdot Py \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot Ix} \quad (2.6.16)$$

$$f = \sqrt{fx^2 + fy^2} \quad \text{ketentuan : } f \leq F \quad (2.6.17)$$

Dimana :

f_x : lendutan arah x

f_y : lendutan arah y

E : modulus elastisitas

I_x : Momen inersia penampang x

I_y : momen inersia penampang y

2.6.1.6 Perhitungan Sagrod

Batang tarik (*trackstang*) berfungsi untuk mengurangi lendutan gording pada arah sumbu x (miring atap) sekaligus untuk tegangan lendutan yang timbul pada arah x. Beban-beban yang dipikul oleh *trackstang* yaitu sejajar bidang atap (sumbu x), maka gaya yang bekerja adalah gaya tarik G_x dan P_x .

G_x = Berat sendiri gording + penutup atap sepanjang sumbu x

P_x = beban hidup arah sumbu x

$P_{\text{total}} = G_x + P_x = (q_x \cdot L) + P_x$

Jika batang tarik yang dipasang dua buah, maka per batangtarik adalah:

$$P = P_{\text{total}} / 2 = (q_x \cdot L) + P_x / 2 \quad (2.6.18)$$

$$\sigma = \frac{P}{F_n} \leq \bar{\sigma} \quad (2.6.19)$$

$$F_n = \frac{P}{\sigma} \quad (2.6.20)$$

Dimana:

P : Beban hidup

q_x : beban mati arah x

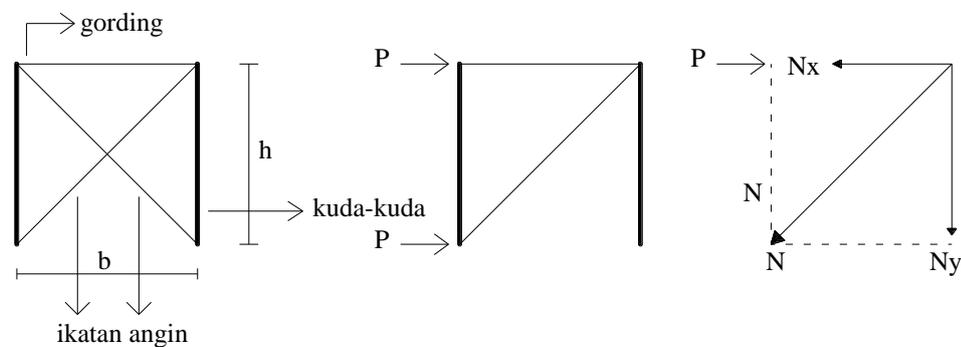
L : lebar bentang

F_n : gaya yang terjadi

2.6.1.7 Ikatan Angin

Ikatan angin hanya bekerja menahan gaya normal (axial tarik saja). Adapun cara kerjanya adalah apabila salah satu ikatan angin bekerja sebagai batang tarik, maka yang lainnya tidak menahan gaya apapun. Sebaliknya

apabila arah angin berubah, maka secara bergantian batang tersebut bekerja sebagai batang tarik.



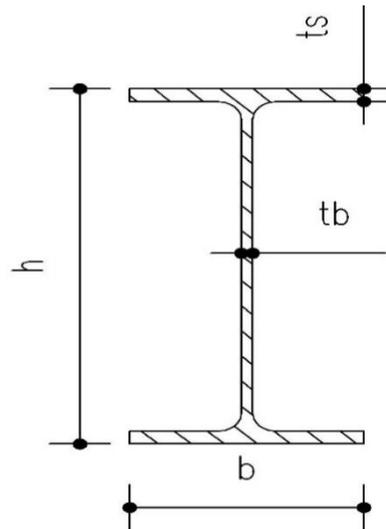
Gambar 2.8 Ikatan Angin

2.6.1.8 Balok Raangka Atap

- Terhadap momen tekanan (W_x)

$$W_x = \frac{M_{max}}{\bar{\sigma}} \quad (2.6.21)$$

- Terhadap balok yang dibebani lentur



Gambar 2.9 Profil Baja

- Cek profil berubah bentuk atau tidak

$$\frac{An}{t} \leq 75 \quad (2.6.22)$$

$$\frac{l}{An} \geq \frac{1,25.D}{t} \quad (2.6.23)$$

- Terhadap bahaya lipatan KIP

$$C_1 = \frac{L \cdot An}{D \cdot t} \quad (2.6.24)$$

$$C_2 = 0,63 \cdot \frac{E}{\bar{\sigma}} \quad (2.6.25)$$

$C_1 > C_2$ maka :

$$\sigma_{kip} = \frac{C_2}{C_1} \times 0,7 \times \bar{\sigma} \quad (2.6.26)$$

$$\sigma_{kip} \leq 0,042 \times C_1 \times C_2 \times \left(\frac{tb}{h}\right)^3 \times \bar{\sigma} \quad (2.6.27)$$

- Cek Tegangan Syarat (PPBBI)

$$\sigma = \omega \frac{P}{A} \quad (2.6.28)$$

2.6.1.9 Kolom Rangka Atap

Dari hasil analisa ETABS didapatkan nilai P_u kolom, Dimana nilai k_c pada kolom dengan asumsi ujung jepit sendi : 0,7.

$$L_k = 0,7 \times H \quad (2.6.29)$$

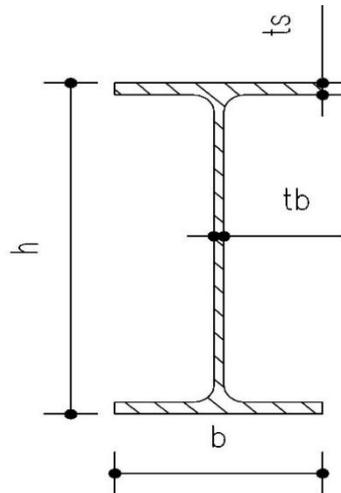
$$r_{\min} \geq \frac{L}{250} \quad (2.6.30)$$

- Mencari luas bruto minimum :

$$\text{Min } A_g = \frac{P_u \cdot \omega}{\phi \cdot f_y} \text{ dimana } \phi = 0,85 \quad (2.6.31)$$

Nilai ω berdasarkan nilai λ :

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \times \frac{L_k}{r_{\min}} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (2.6.32)$$



Gambar 2.10 Penampang kolom

- Kontrol penampang :
 1. Cek kelangsingan penampang
 - Pelat sayap

$$\lambda < \lambda_p \quad (2.6.33)$$

$$\lambda = \frac{b}{t_s} \quad (2.6.34)$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \quad (2.6.35)$$

➤ Pelat badan

$$\lambda < \lambda_p$$

$$\lambda = \frac{h}{tb} \quad (2.6.36)$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$$

2. Kuat tekan rencana kolom, ϕP_n

$$\phi P_n = 0,85 \cdot A_g \cdot F_y \quad (2.6.37)$$

0,02 \leq 0,2 maka digunakan persamaan :

$$\frac{P_u}{\phi P_n} \leq 0,2 \quad (2.6.38)$$

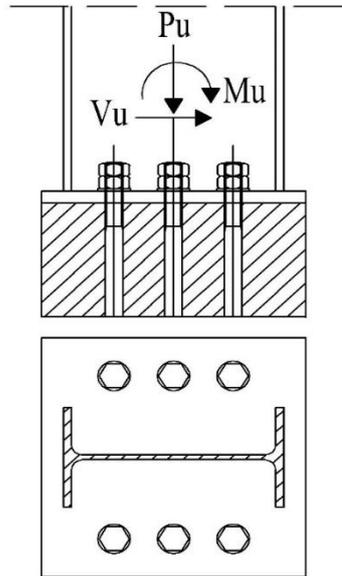
3. Kuat lentur rencana kolom ϕM_n

$$M_n = F_y \cdot W_x \quad (2.6.39)$$

4. Rasio tegangan total

$$\frac{P_u}{2\phi P_n} + \frac{M_{ux}}{\phi_b M_n} \leq 1,0 \quad (2.6.40)$$

2.6.1.10 Kontrol *Base Plat*



Gambar 2.11 Base Plate

➤ Data Tumpuan

Perhitungan Base Plate harus memiliki data :

1. Beban kolom
2. Plat Tumpuan (Base Plate)
3. Kolom pedestal
4. Dimensi Kolom
5. Angkur Baut

➤ Eksentrisitas Beban

$$M_u = P_u \cdot e \quad (2.6.41)$$

$$e = \frac{M_u}{P_u} \quad (2.6.42)$$

$$h = h_t - t_f \quad (2.6.43)$$

$$e_t = f + \frac{h}{2} \quad (2.6.44)$$

$$e_c = \frac{h}{2} - f \quad (2.6.45)$$

Jumlah angkur total

$$n = n_t + n_c \quad (2.6.46)$$

➤ Tahanan tumpu beton

$$P_t = P_u \times \frac{e_c}{e_t} \quad (2.6.47)$$

$$P_{uc} = P_u + P_t \quad (2.6.48)$$

$$Y = \frac{3x(L-h)}{2} \quad (2.6.49)$$

$$A1 = B \times L; A2 = I \times J \quad (2.6.50)$$

$$f_{cn} = 0,85 \cdot f_c' \cdot \sqrt{A2/A1} \quad (2.6.51)$$

Tegangan tumpu maksimum yang terjadi pada beton

$$f_{cu} = \frac{2 \cdot P_{uc}}{Y \cdot B} \quad (2.6.52)$$

➤ Kontrol dimensi plat tumpuan

$$B_{pmin} = \frac{P_{uc}}{0,5 \cdot \theta \cdot f_{cn} \cdot Y} \quad (2.6.53)$$

Syarat yang harus dipenuhi : $B_{pmin} \leq B$

Panjang bagian plat tumpuan jepit besi

$$a = (L - 0,95 \cdot ht) / 2 \quad (2.6.54)$$

$$f_{cu1} = \left(1 - \frac{a}{Y}\right) \cdot f_{cu} \quad (2.6.55)$$

$$Z = \frac{1}{4} \cdot B \cdot t^2 \quad (2.6.56)$$

$$M_{up} = \frac{1}{2} \cdot B \cdot f_{cu1} \cdot a^2 + \frac{1}{3} \cdot B \cdot (f_{cu} - f_{cu1}) \cdot a^2 \quad (2.6.57)$$

$$M_n = f_y \cdot Z \quad (2.6.58)$$

- Gaya tarik pada angkur baut

$$T_{u1} = \frac{P_t}{N_t} \quad (2.6.59)$$

Luas penampang angkur baut

$$A_b = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \quad (2.6.60)$$

Tahanan tarik angkur baut

$$T_n = 0,75 \cdot A_b \cdot f_u^b \quad (2.6.61)$$

$$T_{u1} \leq \theta \cdot T_n \quad (2.6.62)$$

- Gaya geser pada angkur baut

$$V_{u1} = \frac{V_u}{n} \quad (2.6.63)$$

Luas penampang angkur baut

$$A_b = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \quad (2.6.64)$$

Tahanan geser nominal

$$V_n = r_1 \cdot m \cdot A_b \cdot f_u^b \quad (2.6.65)$$

- Kombinasi geser dan tarik

$$f_{uv} = \frac{V_u}{n \cdot A_b} \quad (2.6.66)$$

Kuat geser angkat baut

$$\theta_f \cdot r_1 \cdot m \cdot f_u^b \quad (2.6.67)$$

Syarat yang harus dipenuhi

$$f_{uv} \leq \theta_f \cdot r_1 \cdot m \cdot f_u^b \quad (2.6.68)$$

Gaya tarik akibat beban terfaktor

$$\theta_f \cdot T_n = \theta_f \cdot f_1 \cdot A_b \quad (2.6.69)$$

Kuat tarik angkur baut

$$f_t = 0,75 \cdot f_u^b \quad (2.6.70)$$

Batas tegangan kombinasi

$$f_1 - r_2 \cdot f_{uv} \quad (2.6.71)$$

$$f_t \leq f_1 - r_2 \cdot f_{uv} \quad (2.6.72)$$

Sarat yang harus dipenuhi

$$f_t \leq f_2 \quad (2.6.73)$$

2.6.1.11 Sambungan Baut

Baut adalah salah satu alat penyambung profil baja, selain paku keling dan las. Baut yang lazim digunakan sebagai alat penyambung profil baja adalah baut hitam dan baut berkekuatan tinggi. Baut hitam terdiri dari 2 jenis, yaitu :
Baut yang diulir penuh dan baut yang tidak diulir penuh, sedangkan baut berkekuatan tinggi umumnya terdiri dari 3 type yaitu :

Tipe 1 : Baut baja karbon sedang

Tipe 2 : Baut baja karbon rendah

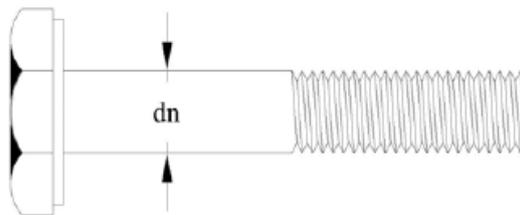
Tipe 3 : Baut baja tahan karat.

Walaupun baut ini kurang kaku bila dibandingkan dengan paku keling dan las, tetapi masih banyak digunakan karena pemasangan baut relatif lebih praktis. Pada umumnya baut yang digunakan untuk menyambung profil baja ada 2 jenis, yaitu :

- Baut yang diulir penuh
- Baut yang tidak diulir penuh

2.6.1.11.1 Baut Yang Diulir Penuh

Baut yang tidak diulir penuh ialah baut yang hanya bagian ujungnya diulir. Untuk lebih jelasnya, perhatikan Gambar berikut ini.



Gambar 2.12 Baut tidak ulir Penuh

Diameter nominal baut yang tidak diulir penuh ialah diameter terluar dari batangbaut. Diameter nominal ialah diameter yang tercantum pada nama perdagangan, misalnya baut M16 berarti diameter nominal baut tersebut = 16 mm. Mengenai kekuatan tarik baut, anda dapat melihat pada tabel konstruksi baja. Sebagai contoh, berikut ini diuraikan kekuatan baut masing-masing dari baut hitam dan baut berkekuatan tinggi.

Baut hitam, ada tertulis di kepala baut 4,6 ini berarti tegangan leleh minimum baut = $4 \times 6 \times 100 = 2400 \text{ kg/cm}^2$. sedangkan, untuk baut berkekuatan tinggi, ada tertulis di kepala baut A325 atau A490. untuk baut A325 dengan diameter 16 mm, maka kekuatan tarik baut = 10700 kg. Untuk menghitung luas penampang baut tidak diulir penuh digunakan

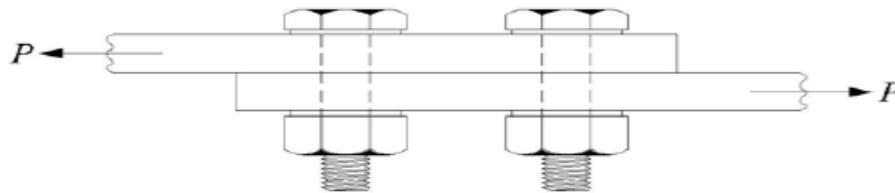
Rumus :

$$A_{\text{baut}} = \frac{1}{4} \pi \cdot d_s^2 \quad (2.6.74)$$

2.6.1.11.2 Jenis-Jenis Sambungan yang Menggunakan Baut

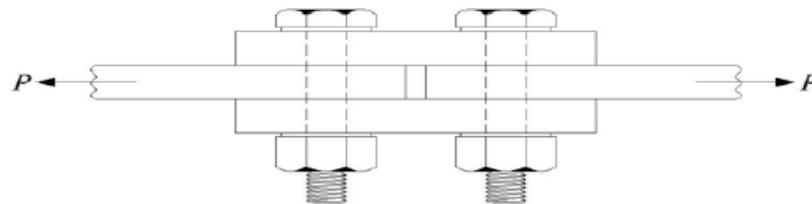
Ada 3 jenis sambungan yang menggunakan baut, yaitu :

1. Baut dengan 1 irisan



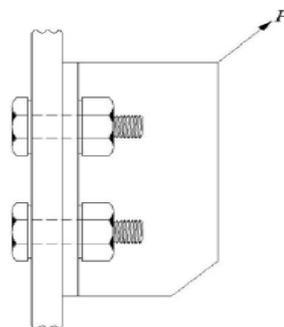
Gambar 2.13 Baut Satu Irisan

2. Baut dengan 2 irisan



Gambar 2.14 Baut dua irisan

3. Baut yang dibebani sejajar sumbu dan tegak lurus sumbu



Gambar 2.15 Baut sejajar

Besarnya tegangan izin baut pada sambungan yang menggunakan baut telah diatur pada PPBBI pasal. 8.2 yaitu :

- Tegangan geser izin : $\tau = 0,6. \sigma$
- Tegangan Tarik izin : $\sigma_{tarik} = 0,7. \sigma$

Tegangan idiil (akibat geser dan tarik) izin :

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\sigma^2 + 1,56\tau^2} \leq \sigma \quad (2.6.75)$$

Tegangan Tumpuan izin = $\bar{\sigma}_{ttumpu} = 1,5. \bar{\sigma}$ untuk $S_t \geq 2d$

$$= \bar{\sigma}_{ttumpu} = 1,2. \bar{\sigma} \text{ untuk } 1,5 \leq S_t \leq 2d$$

(Ket. S_t = Jarak sumbu baut paling luar ke tepi pelat yang disambung)

Tetapi perlu diperhatikan, apabila pelat tidak kuat bila dibandingkan dengan baut, maka lubang baut pada pelat akan berubah bentuk dari bulat akan berubah menjadi oval. Karena itu harus dihitung kekuatan tumpuan dengan rumus :

$$\bar{N}_{tp} = d. s. \bar{\sigma}_{tp} \quad (2.6.76)$$

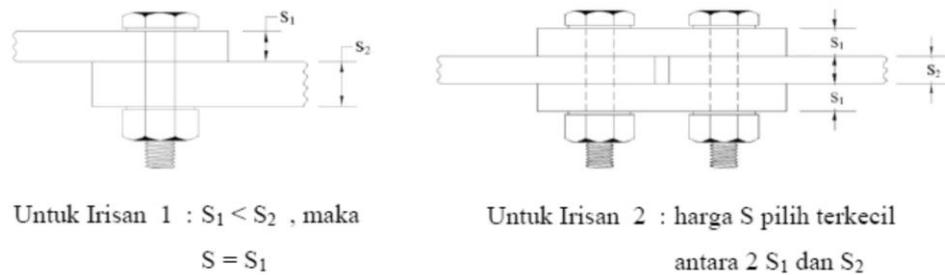
Dimana :

\bar{N}_{tp} = Kekuatan tumpuan

d = diameter lubang

s = tebal pelat terkecil di antara planet yang disambung

$\bar{\sigma}_{tp}$ = tegangan tumpuan izin.



Gambar 2.16 Irisan Baut

Mengenai jarak baut pada suatu sambungan, tetap harus berdasarkan PPBBI pasal 8.2, yaitu :

- Banyaknya baut yang dipasang pada satu baris yang sejajar arah gaya, tidak boleh lebih dari 5 buah.
- Jarak antara sumbu baut paling luar ke tepi atau ke ujung bagian yang disambung, tidak boleh kurang dari $1,2 d$ dan tidak boleh lebih besar dari $3d$ atau $6 t$ (t adalah tebal terkecil bagian yang disambung).
- Pada sambungan yang terdiri dari satu baris baut, jarak dari sumbu ke sumbu dari 2 baut yang berurutan tidak boleh kurang dari $2,5 d$ dan tidak boleh lebih besar dari $7 d$ atau $14 t$.
- Jika sambungan terdiri dari lebih satu baris baut yang tidak berseling, maka jarak antara kedua baris baut itu dan jarak sumbu ke sumbu dari 2 baut yang berurutan pada satu baris tidak boleh kurang dari $2,5 d$ dan tidak boleh lebih besar dari $7 d$ atau $14 t$.

$$2,5 d < s < 7 d \text{ atau } 14 t$$

$$2,5 d < u < 7 d \text{ atau } 14 t$$

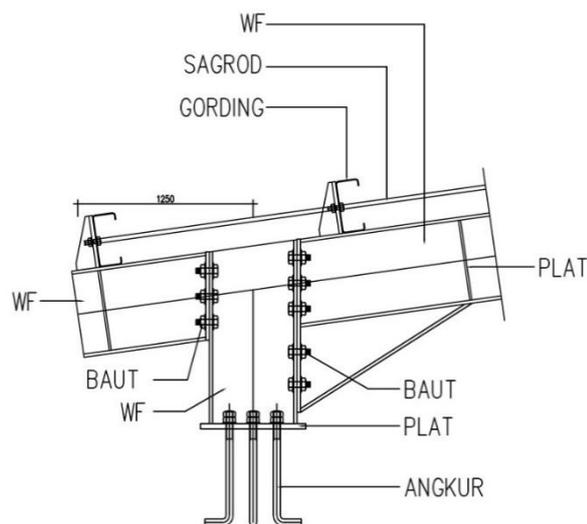
$$1,5 d < s_1 < 3 d \text{ atau } 6 t$$

- Jika sambungan terdiri dari lebih dari satu baris baut yang dipasang berseling, jarak antara baris-baris baut (u) tidak boleh kurang dari $2,5 d$ dan tidak boleh lebih besar dari $7 d$ atau $14 t$, sedangkan jarak antara satu baut dengan baut terdekat pada baris lainnya (s_2) tidak boleh lebih besar dari $7 d$

$$d - 0,5 u \text{ atau } 14 t - 0,5 u.$$

$$2,5 d < u < 7 d \text{ atau } 14 t$$

$$s_2 > 7 d - 0,5 u \text{ atau } 14 t - 0,5 u$$



Gambar 2.17 Sambungan Baut Balok dan Kolom

Sambungan baut yang dibebani geser dapat gagal dalam satu atau beberapa mode kegagalan. Mode tersebut adalah mode kegagalan geser baut, robekan tepi, miring dan tercabutnya baut, dan kegagalan tumpu pada material yang disambungkan.

Untuk menghitung kapasitas tumpu yang lebih rendah dari dua batang berdasarkan ketebalan dan kuat tariknya. Kuat tumpu pelat yang mengalami kontak dengan baut ditentukan dengan rumus.

- Tegangan dasar

$$\bar{\sigma} = \frac{\bar{\sigma}l}{1,5} \quad (2.6.77)$$

2. Tegangan ijin baut

$$\bar{\sigma}_{gs} = 0,6 \times \bar{\sigma} \quad (2.6.78)$$

3. Tegangan tarik baut

$$\bar{\sigma}_{tr} = 0,7 \times \bar{\sigma} \quad (2.6.79)$$

4. Tegangan tumpu

$$\bar{\sigma}_{tu} = 1,5 \times \bar{\sigma} \rightarrow S_1 \geq 2d \quad (2.6.80)$$

$$\bar{\sigma}_{tu} = 1,2 \times \bar{\sigma} \rightarrow 1,5d \leq S_1 < 2d \quad (2.6.81)$$

5. Menentukan kekuatan satu baut

$$N_{gs} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \sigma_{gs} \quad (2.6.82)$$

$$Nt_p = t \times d \times \bar{\sigma}_{tu} \quad (2.6.83)$$

6. Jumlah baut yang dibutuhkan

$$n = \frac{P}{P^1} \quad (2.6.84)$$

2.6.2 Pelat

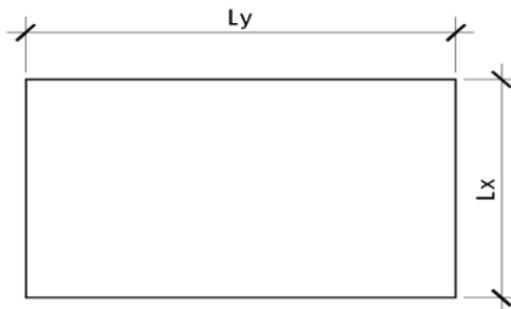
Menurut Asroni (2010:191) Pelat beton bertulang yaitu struktur tipis yang dibuat dari beton bertulang dengan bidang yang arahnya horizontal, dan beban yang bekerja tegak lurus pada bidang struktur tersebut.

Pelat beton bertulang dalam suatu struktur gedung dipakai pada lantai dan atap. Pada pelat yang ditumpu balok pada keempat sisinya, terbagi dua berdasarkan sistem penulangannya, yaitu:

2.6.2.1 Pelat Satu Arah (One Way Slab)

Suatu pelat dikatakan pelat satu arah apabila $\frac{l_y}{l_x} \geq 2$, dimana l_y adalah

sisi panjang dan l_x adalah panjang sisi pendek.



Gambar 2.18 Pelat yang Ditumpu pada Keempat Sisinya

2.6.2.2 Pelat Dua Arah (Two Way Slab)

2.6.2.2.1 Penentuan tebal pelat

Syarat tebal pelat minimum menurut SNI-2847-2013 sebagai berikut:

1. Untuk $\alpha_m \leq 0,2$ ketebalan pelat minimum adalah sebagai berikut ini:
 - a. pelat tanpa penebalan : 125 mm
 - b. pelat dengan penebalan : 100 mm

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

$$h = \frac{\ell_n \left[0,8 + \frac{f_y}{1400} \right]}{36 + 5 \cdot \beta \cdot (\alpha_m - 0,2)} \quad (2.6.85)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm

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

$$h = \frac{\ell_n \left[0,8 - \frac{f_y}{1400} \right]}{36 - 9 \cdot \beta} \quad (2.6.86)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

Keterangan:

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.

ℓ_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.

4. Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan α tidak kurang dari 0,8.

$$\alpha = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cp} \cdot I_p} \quad (2.6.87)$$

Keterangan:

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

2.6.2.2 Menghitung beban yang bekerja pada pelat (beban mati dan beban hidup).

$$W_u = 1,2W_D + 1,6W_L \quad (2.6.88)$$

Keterangan:

W_u = beban ultimit

W_D = beban mati

W_L = beban hidup

2.6.2.2.3 Mencari tebal efektif pelat

Untuk menentukan tinggi efektif pelat ditinjau dari dua arah yaitu :

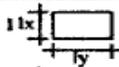
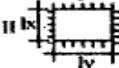
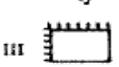
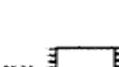
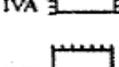
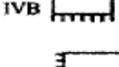
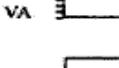
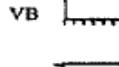
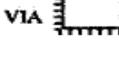
$$\text{Arah X } d_x = h - p - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tulangan arah x} \quad (2.6.89)$$

$$\text{Arah Y } d_y = h - p - \emptyset x - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tulangan arah y} \quad (2.6.90)$$

2.6.2.2.4 Mencari Momen

Mencari momen yang bekerja pada arah x dan y, dengan menggunakan tabel.

Tabel 2.2 Momen Didalam Pelat yang Menumpu pada Keempat Tepinya
Akibat Beban Terbagi Rata

		l_y / l_x	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	>2,5	
I		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	44	52	59	66	73	78	84	88	93	97	100	103	106	108	110	112	125	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	44	45	45	44	44	43	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	25	
II		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	21	25	28	31	34	36	37	40	40	40	41	41	41	42	42	42	42	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	21	21	20	19	18	17	16	14	13	12	12	11	11	11	10	10	8	
		$M_{tx} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	52	59	64	69	73	76	79	81	82	83	83	83	83	83	83	83	83	83
		$M_{ty} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	52	54	56	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
III		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	28	33	38	42	45	48	51	53	55	57	58	59	59	60	61	61	63	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	28	28	28	27	26	25	23	23	22	21	19	18	17	17	16	16	13	
		$M_{tx} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	68	77	85	92	98	103	107	111	113	116	118	119	120	121	122	122	125	
		$M_{ty} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	68	72	74	76	77	77	78	78	78	78	79	79	79	79	79	79	79	79
IVA		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	22	28	34	42	49	55	62	68	74	80	85	89	93	97	100	103	125	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	32	35	37	39	40	41	41	41	41	40	39	38	37	36	35	35	25	
		$M_{ty} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	70	79	87	94	100	105	109	112	115	117	119	120	121	122	123	123	125	
IVB		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	32	34	36	38	39	40	41	41	42	42	42	42	42	42	42	42	42	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	22	20	18	17	15	14	13	12	11	10	10	9	9	9	9	9	8	
		$M_{tx} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	70	74	77	79	81	82	83	84	84	84	84	84	84	83	83	83	83	83
VA		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	31	38	45	53	60	66	72	78	83	88	92	96	99	102	105	108	125	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	37	39	41	41	42	42	41	41	40	39	38	37	36	35	34	33	25	
		$M_{ty} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	84	92	99	104	109	112	115	117	119	121	122	122	123	123	124	124	125	
VB		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	37	41	45	48	51	53	55	56	58	59	60	60	60	61	61	62	63	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	31	30	28	27	25	24	22	21	20	19	18	17	17	16	16	15	13	
		$M_{tx} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	84	92	98	103	108	111	114	117	119	120	121	122	122	123	123	124	125	
VIA		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	21	26	31	36	40	43	46	49	51	53	55	56	57	58	59	60	63	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	26	27	28	28	27	26	25	23	22	21	20	20	20	19	19	18	13	
		$M_{tx} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	55	65	74	82	89	94	99	103	106	110	114	116	117	118	119	120	125	
		$M_{ty} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	60	65	69	72	74	76	77	78	78	78	78	78	78	78	78	78	79	79
VIB		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	26	29	32	35	36	38	39	40	40	41	41	42	42	42	42	42	42	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	11	11	10	10	10	10	8	
		$M_{tx} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	60	66	71	74	77	79	80	82	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
		$M_{ty} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	55	57	57	57	58	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57

Keterangan :  = Terletak bebas
 = Terjepit penuh

Sumber Ali Asroni (2010:267)

2.6.2.2.5 Menghitung tulangan pelat

1. Rasio tulangan

- Rasio tulangan seimbang

$$\rho_b = 0,85 \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (2.6.91)$$

- Rasio tulangan maksimum

$$\rho_{maks} = \left(\frac{0,003 + f_y / E_s}{0,008} \right) \rho_b \quad (2.6.91)$$

- Rasio tulangan minimum

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.6.92)$$

Rasio tulangan perlu

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7 \phi f'_c b d^2}} \right) \quad (2.6.93)$$

2. Luas tulangan

$$A_s = \rho_{perlu} bd \quad (2.6.94)$$

3. Jumlah tulangan

$$n = \frac{A_s}{A_t} \quad (2.6.95)$$

4. Jarak antar tulangan

$$s = \frac{b}{n-1} \quad (2.6.96)$$

2.6.3 Balok

Balok adalah komponen struktur yang berfungsi menahan gaya-gaya yang bekerja dalam arah transversal terhadap sumbunya, yang menimbulkan momen luar sehingga balok akan melengkung ke bawah atau mengalami lenturan/lendutan. Balok yang mengalami lendutan pada dasarnya ditahan oleh kopel gaya dalam yang berupa tegangan tekan dan tegangan tarik.

SNI 2847:2013 menyatakan tentang ukuran minimum balok yang tertulis sebagai berikut:

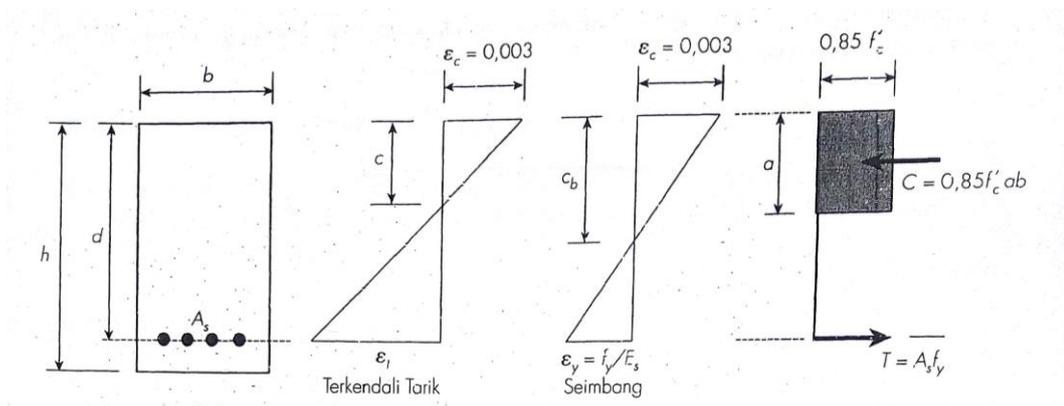
Tabel 2.3 Tinggi (h) minimal balok non-pratekan atau pelat satu arah

Komponen Struktur	Tinggi minimal, h			
	Dua tumpuan	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang akan rusak karena lendutan yang besar			
Pelat solid satu arah	L/20	L/24	L/28	L/10
Balok atau pelat lajur satu arah	L/16	L/18,5	L/21	L/8

2.6.3.1 Balok Dengan Tulangan Tunggal

Balok dengan tulangan tunggal sering juga disebut dengan balok bertulangan sebelah atau balok dengan tulangan saja.

Jika balok menahan momen lentur cukup besar, maka pada serat – serat balok bagian atas akan mengalami tegangan tekan dan pada serat – serat balok bagian bawah mengalami tegangan tarik. Untuk serat – serat balok bagian atas yang mengalami tegangan tekan, tegangan ini akan ditahan oleh beton, sedangkan untuk serat – serat balok yang mengalami tegangan tarik akan ditahan oleh baja tulangan, karena kuat tarik beton diabaikan. (Pasal 10.2.6. SNI 2847 -2013).



Gambar 2.19 Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok Tunggal

Keterangan notasi pada Gambar 2.19:

a : tinggi blok tegangan beton tekan persegi ekivalen $=\beta_1.c$, mm.

$$a = \beta_1.c \quad (2.6.97)$$

A_s : luas tulangan tarik, mm².

b : lebar penampang balok, mm.

c : jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan, mm.

C_c : gaya tekan beton, kN.

d : tinggi efektif penampang balok, mm.

d_s : jarak antara titik berat tulangan tarik dan tepi serat beton tarik, mm.

$f'c$: tegangan tekan beton yang disyaratkan pada umur 28 hari, MPa.

E_s : modulus elastisitas baja tulangan, diambil sebesar 200.000 MPa.

f_s : tegangan tarik baja tulangan = $\varepsilon_s \cdot E_s$, dalam MPa.

$$f_s = \varepsilon_s \cdot E_s \quad (2.6.98)$$

f_y : tegangan tarik baja tulangan pada saat leleh, MPa.

H : tinggi penampang balok, mm.

M_n : momen nominal aktual, kNm.

T_s : gaya tarik baja tulangan, kN.

β_1 : faktor pembentuk tegangan beton tekan persegi ekuivalen,

1. Untuk kuat tekan beton, $f'c \leq 28$ Mpa

$$\beta_1 = 0,85 \quad (2.6.99)$$

2. Untuk kuat tekan beton $28 \text{ Mpa} < f'c < 56 \text{ Mpa}$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f'c - 28}{7} \quad (2.6.100)$$

3. Untuk kuat tekan beton, $f'c > 56 \text{ Mpa}$

$$\beta_1 = 0,65 \quad (2.6.101)$$

ε_c' : regangan tekan beton, dengan ε_c' maksimal (ε_{cu}') = 0,003

ε_s : regangan tarik baja tulangan.

ε_s' : regangan tekan baja tulangan.

$$\varepsilon_s' = \frac{a - \beta_1 \cdot d_s'}{c} \cdot 0,003 \quad (2.6.102)$$

ε_y : regangan tarik baja tulangan pada saat leleh,

$$\varepsilon_y = \frac{fy}{E_s} = \frac{fy}{200000} \quad (2.6.103)$$

Dari diagram regangan dan tegangan pada Gambar 2.19 Dengan menggunakan perbandingan diperoleh persamaan berikut:

$$\frac{c_b}{d_s} = \frac{0,003}{0,003 + fy / E_s}$$

Apabila nilai $E_s = 20000$ Mpa, maka:

$$c_b = \left(\frac{600}{600 + fy} \right) d \quad (2.6.104)$$

Dari hubungan kesetimbangan antara gaya tekan beton dan gaya tarik baja didapat persamaan berikut:

$$C = T$$

$$0,85 f'_c a_b d = A_{sb} f_y$$

Persamaan nilai tinggi blok tegangan ekuivalen dalam kondisi seimbang adalah:

$$a_b = \frac{A_{sb} f_y}{0,85 f'_c b} \quad (2.6.105)$$

Rasio tulangan yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi seimbang (ρ_b) adalah perbandingan luas tulangan baja dengan luas penampang efektif.

$$\rho_b = \frac{A_{sb}}{bd} \quad (2.6.106)$$

Di mana:

b = lebar penampang balok tertekan

d = jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan baja tarik

dari persamaan 2.6.104 dan 2.6.105 didapat persamaan umum rasio tulangan seimbang, ρ_b :

$$\rho_b = 0,85\beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (2.6.107)$$

Balok terlentur mengalami lendutan yang ditahan oleh kopel gaya-gaya dalam berupa tegangan tekan dari beton dan tegangan tarik dari baja tulangan, momen nominal dari suatu balok persegi beton bertulang merupakan nilai dari tegangan-tegangan dari beton atau pun baja tulangan terhadap jarak antara kedua gaya tersebut.

$$M_n = C.z = T.z$$

Atau

$$M_n = 0,85 f'_c ab \left(d - \frac{a}{2} \right) = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.6.108)$$

Sesuai dengan konsep tegangan kerja momen nominal harus direduksi dengan faktor reduksi, ϕ . Persamaan momen nominal dapat dituliskan secara ringkas menjadi:

$$\phi M_n = R_u b d^2 \quad (2.6.109)$$

Dengan

$$R_u = \phi \rho f_y \left(1 - \frac{\rho f_y}{1,7 f'_c} \right) \quad (2.6.110)$$

Selanjutnya akan ditinjau batasan rasio tulangan baja yang diizinkan dalam suatu komponen struktur lentur. Dalam SNI 2847:2013 pasal 10.3.5 menyatakan nilai ϵ_t pada kondisi kuat lentur nominal harus $\geq 0,004$.

Regangan penampang pada kondisi seimbang yang ditunjukkan pada gambar 2.6.105, dari hubungan yang sudah diturunkan sebelumnya diperoleh:

$$c_b = \frac{a_b}{\beta_1} = \frac{A_{sb} f_y}{0,85 f'_c \beta_1 b} = \frac{\rho_b f_y d}{0,85 f'_c \beta_1}$$

Dengan cara yang sama diperoleh persamaan:

$$c = \frac{\rho f_y d}{0,85 f'_c \beta_1} \quad (2.6.111)$$

Dari perbandingan kedua nilai c di atas didapat persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\rho}{\rho_b} = \frac{0,003 + f_y / E_s}{0,003 + \varepsilon_t} \quad (2.6.112)$$

Dalam desain komponen struktur lentur dapat diambil nilai rasio tulangan dengan menggunakan $\varepsilon_t = 0,005$, sehingga dari persamaan 2.6.112 diperoleh persamaan:

$$\rho_{maks} = \left(\frac{0,003 + f_y / E_s}{0,008} \right) \rho_b \quad (2.6.113)$$

Sedangkan untuk rasio tulangan minimum untuk balok persegi adalah:

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.6.114)$$

Rasio tulangan yang diperlukan untuk menahan momen lentur yang terjadi pada balok (M_u) adalah:

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f'_c b d^2}} \right) \quad (2.6.115)$$

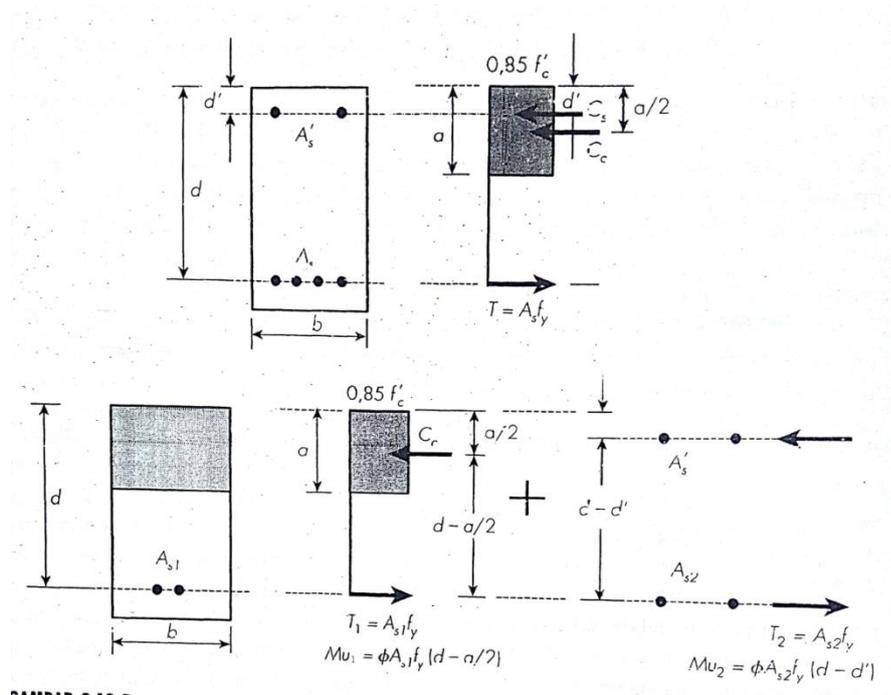
Dengan persyaratan sebagai berikut:

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$$

2.6.3.2 Balok Dengan Tulangan Rangkap

Suatu penampang balok beton bertulang terkadang didesain memiliki tulangan tarik dan tulangan tekan, balok tersebut sering disebut dengan balok bertulangan rangkap. Penggunaan tulangan tekan sering dijumpai pada balok menerus yang mengalami momen negatif atau di tengah bentang dari suatu

balok yang cukup panjang dan memikul beban yang cukup berat serta persyaratan kontrol lendutan cukup ketat.



Gambar 2.20 Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok Bertulangan Rangkap

Keterangan notasi pada Gambar 2.20:

A : tinggi balok tegangan beton tekan persegi ekivalen = $\beta_1 \cdot c$, mm.

A_s : luas tulangan tarik, mm².

A_s' : luas tulangan tekan, mm².

B : lebar penampang balok, mm.

c : jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan, mm.

C_c : gaya tekan beton, kN.

C_s : gaya tekan baja tulangan, kN.

d : tinggi efektif penampang balok, mm.

d_s : jarak antara titik berat tulangan tarik dan tepi serat beton tarik, mm.

d_s' : jarak antara titik berat tulangan tekan dan tepi serat beton tekan, mm.

E_s : modulus elastisitas baja tulangan, diambil sebesar 200.000 MPa.

$f'c$: tegangan tekan beton yang disyaratkan pada umur 28 hari, MPa.

f_s : tegangan tarik baja tulangan = $\varepsilon_s \cdot E_s$, dalam MPa.

$$f_s = \varepsilon_s \cdot E_s \quad (2.6.116)$$

f_s' : tegangan tekan baja tulangan = $\varepsilon_s' \cdot E_s$, dalam MPa.

f_y : tegangan tarik baja tulangan pada saat leleh, MPa.

h : tinggi penampang balok, mm.

M_n : momen nominal aktual, kNm.

T_s : gaya tarik baja tulangan, kN.

β_1 : faktor pembentuk tegangan beton tekan persegi ekuivalen, yang bergantung pada mutu beton ($f'c$)

ε_c' : regangan tekan beton,

dengan ε_c' maksimal (ε_{cu}') = 0,003 (2.6.117)

ε_s : regangan tarik baja tulangan.

ε_s' : regangan tekan baja tulangan.

$$\varepsilon_s' = \frac{a - \beta_1 \cdot d_s'}{c} \cdot 0,003 \quad (2.6.118)$$

ε_y : regangan tarik baja tulangan pada saat leleh,

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{f_y}{200000} \quad (2.6.119)$$

Tegangan tekan baja tulangan f_s' dihitung dengan rumus :

$$f_s' = \frac{a - \beta_1 \cdot d_s'}{a} \cdot 600 \quad (2.6.120)$$

dengan ketentuan $f_s' \geq 0$

Jika $f_s' \geq f_y$, maka dipakai $f_s' = f_y$

Dari diagram interaksi tegangan dan regangan di atas didapat persamaan-persamaan berikut:

1. Momen internal (M_{u1}) yang dihasilkan dari gaya tekan pada beton dan gaya tarik ekuivalen pada tulangan baja, A_{s1} .

$$T_1 = C_c$$

$$A_{s1}f_y = 0,85f'_c ab$$

Dengan a adalah tinggi blok tegangan dari beton:

$$a = \frac{A_{s1}f_y}{0,85f'_c b} \quad (2.6.121)$$

Didapat persamaan M_{u1} sebagai berikut:

$$M_{u1} = \phi A_{s1}f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.6.122)$$

M_{u2} merupakan momen internal yang timbul dari gaya tekan pada tulangan A'_s dan gaya tarik tambahan dari tulangan A_{s2} .

$$M_{u2} = \phi A_{s2}f_y (d - d') = \phi A'_s f_y (d - d') \quad (2.6.123)$$

Momen nominal total dari balok penampang persegi bertulangan rangkap,

M_n .

$$\phi M_n = M_{u1} + M_{u2} = \phi \left[A_{s1}f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f_y (d - d') \right] \quad (2.6.124)$$

2. Luas total tulangan baja tarik

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \quad (2.6.125)$$

atau

$$A_s = A_{s1} + A'_s \quad (2.6.126)$$

3. Syarat batas maksimum rasio tulangan

$$(\rho - \rho') < \rho_{maks} = \rho_b \left(\frac{0,003 + \frac{f_y}{E_s}}{0,008} \right) \quad (2.6.127)$$

4. Tegangan pada tulangan tekan

$$f'_s = \frac{600(c - d')}{c} \leq f_y \quad (2.6.128)$$

Apabila $\varepsilon'_s < \varepsilon_y$ tulangan tekan belum leleh dan $f'_s < f_y$

Apabila $\varepsilon'_s \geq \varepsilon_y$ tulangan tekan sudah leleh dan $f'_s = f_y$

Dengan nilai regangan pada tulangan baja sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{f_y}{E_s} \quad (2.6.129)$$

5. Nilai tinggi garis netral dari diagram regangan (c)

$$T = C_s + C_c$$

$$A_s f_y = A'_s \left[600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) - 0,85 f'_c \right] + 0,85 f'_c \beta_1 c b$$

Apabila disederhanakan, nilai c dapat dihitung dengan persamaan:

$$c = \frac{-K_2 \pm \sqrt{K_2^2 - 4K_1 K_3}}{2K_1} \quad (2.6.130)$$

Dengan

$$K_1 = 0,85 f'_c \beta_1 b$$

$$K_2 = A'_s (600 - 0,85 f'_c) - A_s f_y$$

$$K_3 = -600 A'_s d'$$

6. Regangan pada tulangan

$$\varepsilon_t = \frac{d_t - c}{c} 0,003 \geq 0,005 \quad (2.6.131)$$

2.6.3.3 Tulangan Geser

Balok yang mengalami aksi pembebanan akan mengalami reaksi berupa gaya-gaya dalam, di antaranya adalah momen lentur dan gaya geser. Untuk dapat memikul beban tersebut balok harus didesain terhadap gaya-gaya dalam tersebut. Dalam desain balok terhadap momen lentur didapat dimensi penampang serta kebutuhan tulangan lentur. Berbeda dengan keruntuhan lentur yang ditandai dengan beberapa indikasi berupa terjadinya lendutan yang bertambah besar dan adanya retak lebar sebelum terjadi keuruntan, tanpa daktilitas yang cukup pada struktur keruntuhan akibat gaya geser dapat terjadi secara tiba-tiba tanpa adanya indikasi-indikasi kegagalan. Untuk itu balok harus didesain sedemikian rupa sehingga kegagalan akibat gaya geser tidak terjadi sebelum kegagalan lentur.

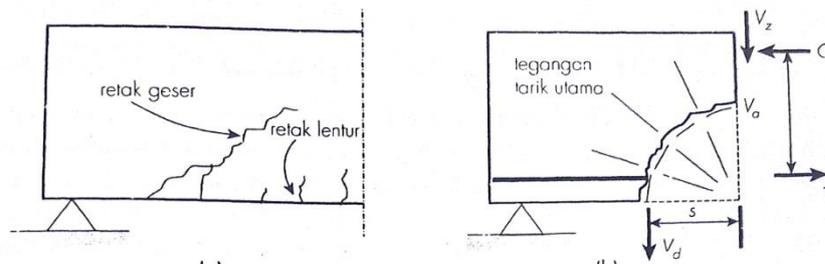
Beton merupakan material yang lemah terhadap gaya tarik, gaya tarik pada balok beton mengakibatkan retakan-retakan pada beton yang disebabkan oleh gaya tarik aksial, momen lentur, gaya geser, torsi atau kombinasi dari gaya-gaya tersebut. Retak geser-lentur merupakan retakan yang sering terjadi pada balok beton letakan ini terjadi ketika retak diagonal yang terjadi di dekat tumpuan bertemu dengan retak lentur. Retak lentur terjadi lebih dahulu dalam arah vertikal kemudian terjadi retak diagonal dari sisi atas balok ketika terjadi tegangan geser di daerah tersebut. Oleh karena itu, di daerah yang terjadi tegangan geser pada balok yang cukup tinggi harus diperkuat dengan tulangan geser agar balok memiliki daktilitas yang cukup untuk mencegah terjadinya keruntuhan akibat geser. Untuk menghindari terjadinya kegagalan geser terjadi sebelum kegagalan lentur dalam SNI

2847:2013 faktor keamanan untuk geser memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan lentur yaitu sebesar $\phi = 0,75$.

Tahanan geser pada balok beton bertulang didapatkan dari kombinasi beberapa mekanisme berikut:

1. Tahanan geser beton yang didasarkan pada penampang yang masih utuh belum mengalami retak, V_z .
2. Transfer geser antar muka akibat lekatan agregat sepanjang bidang retak, V_a .
3. Tahanan yang diberikan oleh tulangan memanjang, V_d .

Selain itu tulangan geser memberikan tambahan tahanan geser, V_s , yang tergantung pada diameter dan jarak antar tulangan geser. Tulangan geser memiliki kontribusi pada kuat geser yang cukup setelah terjadi retak diagonal pada balok beton, dan redistribusi gaya internal yang terjadi pada daerah yang terjadi keretakan.



Gambar 2.21 Mekanisme Tahanan Geser dan Retak Geser-Lentur Pada Balok Beton Bertulang

Beberapa rumus yang digunakan sebagai dasar untuk perhitungan tulangan geser / begel balok yang tercantum dalam pasal – pasal **SNI 2847 – 2013**, yaitu sebagai berikut :

1. Pasal 11.1.1 **SNI 2847 – 2013**, gaya geser rencana, gaya geser nominal, gaya geser yang ditahan oleh beton dan begel dirumuskan :

$$V_r = \phi \cdot V_n \text{ dan } \phi \cdot V_n \geq V_u \quad (2.6.132)$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.6.133)$$

dengan :

V_r : Gaya geser rencana, Kn

V_n : Gaya geser nominal, kN

V_c : Gaya geser yang ditahan oleh beton, kN

V_s : Gaya geser yang ditahan oleh begel, kN

ϕ : Faktor reduksi geser = 0,75

2. Pasal 11.1.3.1 **SNI 2847 – 2013**, nilai V_u boleh diambil pada jarak d (menjadi V_{ud}) dari muka kolom, sebagai berikut :

$$V_{ud} = V_{ut} + \frac{x}{y} \cdot (V_u - V_{ut}) \quad (2.6.134)$$

Pasal 11.2.1 **SNI 2847 – 2013**, gaya geser yang ditahan oleh beton (V_c)

dihitung dengan rumus :

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \quad (2.6.135)$$

3. Pasal 11.4.7.1 **SNI 2847 – 2013**, gaya geser yang ditahan oleh begel (V_s)

dihitung dengan rumus :

$$V_s = \frac{(V_u - \phi \cdot V_c)}{\phi} \quad (2.6.136)$$

4. Pasal 11.4.7.9 **SNI 2847 – 2013**

$$V_s \text{ harus } \leq \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \quad (2.6.137)$$

Jika V_s ternyata $\geq \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$, maka ukuran balok diperbesar.

5. SNI 2847 – 2013, luas tulangan geser per meter panjang balok yang diperlukan ($A_{v,u}$) dihitung dengan memilih nilai terbesar dari rumus berikut:

- a. Pasal 11.4.7.2

$$A_{v,u} = \frac{V_s \cdot S}{f_y \cdot d} \quad (2.6.138)$$

- Pasal 11.4.6.3

$$A_{v,u} = \frac{b \cdot S}{3 \cdot f_y} \quad (2.6.139)$$

- Pasal 11.4.6.3

$$A_{v,u} = \frac{75 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot S}{1200 \cdot f_y} \quad (2.6.140)$$

Spasi begel (s) dihitung dengan rumus berikut :

$$s = \frac{n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot dp^2 \cdot S}{A_{v,u}} \quad (2.6.141)$$

a.

- b. Pasal 11.4.5.1 untuk $V_s < \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$, maka

$$s \leq \frac{d}{2} \text{ dan } s \leq 600 \text{ mm} \quad (2.6.142)$$

- Pasal 11.4.5.3 untuk $V_s > \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$, maka

$$s \leq \frac{d}{4} \text{ dan } s \leq 300 \text{ mm} \quad (2.6.142)$$

dengan :

n : jumlah kaki begel (2, 3 atau 4 kaki)

dp : diameter begel dari tulangan polos, mm

2.6.3.4 Momen Puntir (Torsi)

Torsi atau momen puntir adalah momen yang bekerja terhadap sumbu longitudinal balok / elemen struktur. Torsi dapat terjadi karena adanya beban eksentrik yang bekerja pada balok tersebut.

Menurut pasal 13.6.1 SNI 2847 – 2013, Pengaruh puntir dapat diabaikan jika momen puntir terfaktor T_u memenuhi syarat berikut :

$$T_u \leq \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \text{ dengan } \phi = 0,75 \quad (2.6.143)$$

Dengan : A_{cp} : Luas penampang brutto

P_{cp} : Keliling penampang brutto

2.6.4 Kolom

Kolom merupakan komponen struktur vertikal dari rangka yang mendapat beban tekan sentris maupun eksentris dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil. Kolom menyalurkan beban-beban dari elevasi tinggi menuju elevasi yang lebih bawah hingga ke tanah melalui pondasi. Kolom merupakan batang tekan sehingga keruntuhan pada satu kolom adalah lokasi kritis yang dapat menyebabkan collapse atau runtuhnya lantai yang bersangkutan, dan juga runtuh batas total (ultimate total collapse) atau runtuhnya seluruh struktur.

Berdasarkan SNI 2847:2013 ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam mendesain kolom, di antaranya adalah:

1. Kolom harus dirancang untuk menahan gaya aksial dari beban terfaktor pada semua lantai atau atap dan momen maksimum dari beban terfaktor pada satu bentang lantai atau atap bersebelahan yang ditinjau. Kondisi

pembebanan yang memberikan rasio momen maksimum terhadap beban aksial harus juga ditinjau.

2. Pada rangka atau konstruksi menerus, pertimbangan harus diberikan pada pengaruh beban lantai atau atap tak seimbang pada baik kolom eksterior dan interior dan dari pembebanan eksentris akibat penyebab lainnya.
3. Dalam menghitung momen akibat beban gravitasi pada kolom, dapat diasumsikan ujung jauh kolom yang dibangun menyatu dengan struktur sebagai jepit.
4. Tahanan terhadap momen pada setiap tingkat lantai atau atap harus disediakan dengan mendistribusikan momen di antara kolom-kolom langsung di atas dan di bawah lantai ditetapkan dalam proporsi terhadap kekakuan kolom relatif dan kondisi kekangan.

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10 desain beban aksial tidak boleh melebihi:

1. Untuk kolom dengan sengkang persegi ($\phi = 0,65$)

$$\phi P_{n(max)} = 0,80.\phi.\left[0,85.f'c(A_g - A_{st}) + f_y.A_{st}\right] \quad (2.6.144)$$

2. Untuk kolom dengan sengkang spiral

$$\phi P_{n(max)} = 0,85.\phi.\left[0,85.f'c(A_g - A_{st}) + f_y.A_{st}\right] \quad (2.6.155)$$

A. Jenis kolom

Secara umum kolom dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori sebagai berikut:

1. Berdasarkan beban yang bekerja

- a. Kolom dengan beban aksial, beban kolom dianggap bekerja melalui pusat penampang kolom.
 - b. Kolom dengan beban eksentris, beban kolom dianggap bekerja dalam jarak e dari pusat penampang kolom. Jarak e diukur dalam arah sumbu x dan y yang dapat menimbulkan momen.
 - c. Kolom dengan beban biaksial, beban kolom bekerja pada sembarang titik pada penampang kolom, sehingga menimbulkan momen terhadap sumbu x dan y secara simultan.
2. Berdasarkan panjangnya
- a. Kolom pendek, adalah jenis kolom yang keruntuhannya diakibatkan oleh hancurnya beton atau luluhnya baja di bawah kapasitas ultimit kolom tersebut.
 - b. Kolom panjang, adalah jenis kolom yang direncanakan memiliki kapasitas di bawah kolom pendek dengan memperhitungkan rasio kelangsingan dan efek tekuk.
3. Berdasarkan bentuk penampangnya
- Ada beberapa jenis kolom menurut bentuk penampangnya, umumnya adalah kolom bujur sangkar, kolom persegi panjang, kolom lingkaran dan kolom lainnya dengan ukuran sisi yang mencukupi.
4. Berdasarkan jenis sengkang yang digunakan
- a. Kolom dengan sengkang persegi yang mengikat tulangan vertikal dari kolom secara tegak lurus, dan disusun dengan jarak tertentu sepanjang tinggi kolom.

b. Kolom dengan sengkang spiral adalah kolom yang memiliki pengikat tulangan memanjang yang dipasang melingkar secara menerus sepanjang tinggi kolom. Tulangan sengkang pada kolom, baik sengkang persegi maupun sengkang spiral memiliki fungsi untuk mencegah tekuk pada tulangan memanjang dan mencegah pecahnya selimut beton akibat beban tekan yang besar.

5. Berdasarkan materialnya

Kolom dapat berupa dari beton bertulang biasa, kolom beton prategang atau kolom komposit yaitu kolom yang terdiri dari beton dan profil baja.

B. Kelangsingan Kolom

Kelangsingan kolom dapat didefinisikan sebagai rasio antara tinggi kolom dengan jari-jari inersia penampang kolom, $\lambda = L/r$. Kelangsingan dapat mengakibatkan tekuk ataupun momen tambahan. suatu kolom disebut kolom pendek apabila memenuhi persyaratan:

1. Berdasarkan SNI-2847-2013 Pasal 10.10.1(a) komponen struktur tekan yang tidak di-breising (*braced*) terhadap goyangan menyamping:

$$\frac{kl_u}{r} \leq 22 \quad (2.6.156)$$

2. Berdasarkan SNI-2847-2013 Pasal 10.10.1(b) komponen struktur tekan yang di-breising (*braced*) terhadap goyangan menyamping:

$$\frac{k l_u}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40 \quad (2.6.157)$$

3. Untuk kolom yang tidak dapat bergoyang berlaku:

$$\frac{k \cdot \lambda_{n.k}}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \quad (2.6.158)$$

$$r = \sqrt{I/A}$$

Dengan:

k = faktor panjang efektif kolom.

λ_{nk} = panjang bersih kolom, m.

r = radius girasi atau jari-jari inersia penampang kolom, m
 $= 0,3 \cdot h$ (jika kolom berbentuk persegi), m.

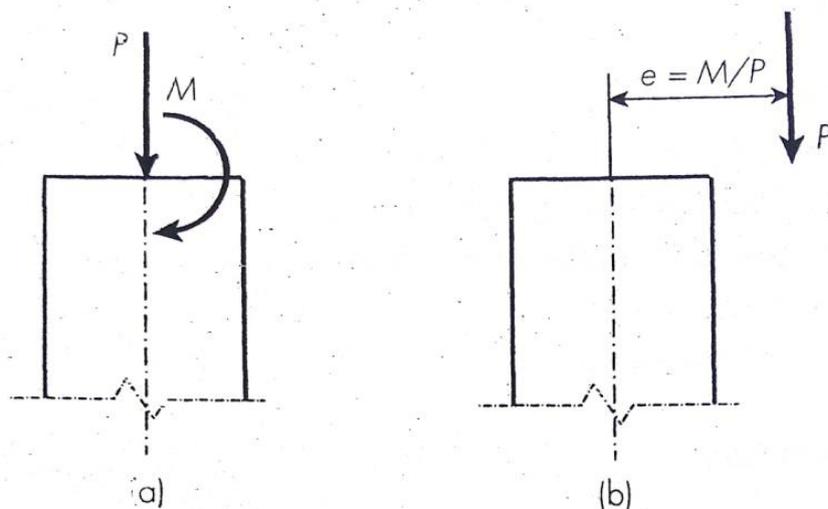
M_1 dan M_2 = momen yang kecil dan yang besar pada ujung kolom, KNm.

I dan A = momen inersia dan luas penampang kolom, m^4 dan m^2

Catatan : jika persyaratan pada persamaan 2. atau persamaan 2. tidak terpenuhi, maka kolom tersebut termasuk kolom panjang.

C. Kolom Kombinasi Beban Aksial dan Momen Lentur

Dalam mendesain kolom harus diperhitungkan aksi simultan antara gaya aksial dan momen lentur karena kolom dengan beban aksial murni jarangjumpai pada struktur gedung beton bertulang.



Gambar 2.22 Kolom Dengan Beban Aksial dan Momen Lentur

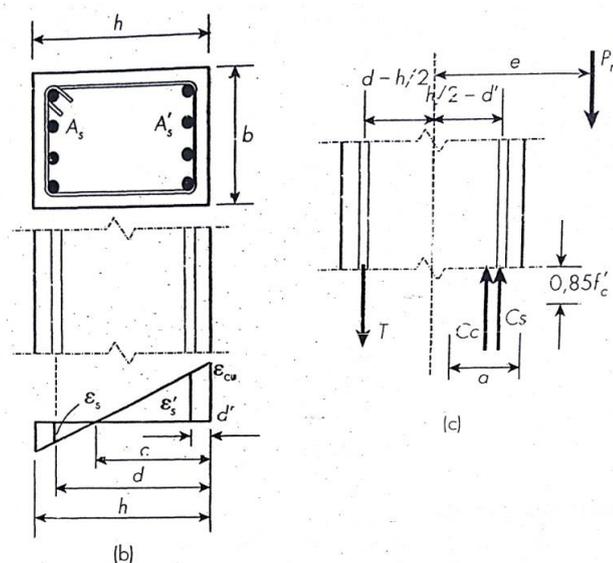
Ketika sebuah kolom mengalami pembebanan aksial (P) dan momen lentur (M), besarnya nilai momen lentur (M) dapat diekuivalenkan menjadi beban aksial (P) yang bekerja pada jarak eksentrisitas $e = M/P$. Eksentrisitas merepresentasikan jarak dari beban yang bekerja ke sumbu plastis penampang. Untuk kolom berpenampang simetris titik berat plastis merupakan lokasi dari resultan gaya dari tulangan baja dan beton yang mengalami tegangan tekan sebesar f_y dan $0,85f'_c$. Desain kolom dilakukan berdasarkan beban terfaktor yang tidak boleh lebih besar dari kuat rencana penampang, yaitu:

$$\phi M_n > M_u$$

$$\phi P_n > P_u$$

D. Analisis Kompatibilitas Regangan dan Diagram Interaksi

Gambar 2.c menunjukkan kolom yang diberi beban tekan, P_n , sejajar dengan sumbu memanjangnya, dan bekerja pada eksentrisitas sebesar e .



Gambar 2.23 Distribusi Regangan dan Tegangan pada Kolom dengan Beban Eksentris

1. Beban tekan nominal

Dari persamaan kestimbangan antara gaya eksternal dan internal, didapat persamaan untuk beban tekan nominal, yaitu:

$$P_n = C_c + C_s - T$$

$$P_n = 0,85 f'_c ab + A' f'_s - A_s f_s \quad (2.6.159)$$

Momen nominal

Kesetimbangan antara momen internal dengan eksternal memberikan hubungan:

$$M_n = 0,85 f'_c ab \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A' f'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) - A_s f_s \left(d - \frac{h}{2} \right) \quad (2.6.160)$$

Dengan tinggi blok tegangan seperti halnya pada analisis penampang balok, yaitu:

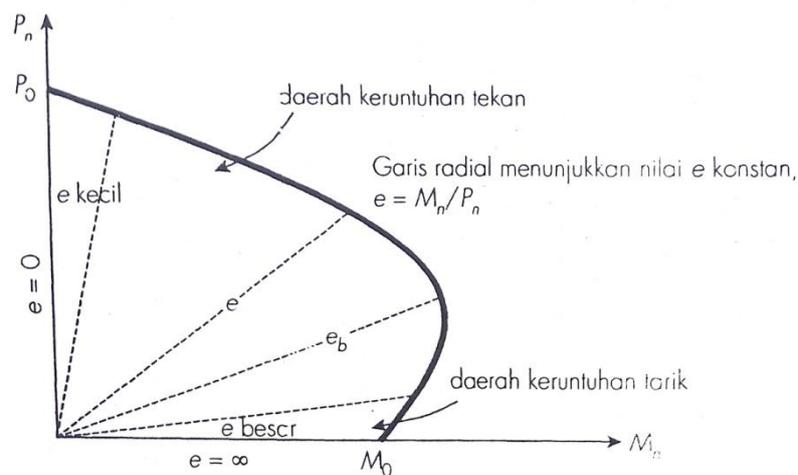
$$a = \beta_1 c$$

2. Diagram interaksi

Diagram interaksi merupakan metode praktis dalam keperluan desain kolom. Diagram interaksi memberikan beban runtuh dan momen runtuh pada penampang kolom, untuk setiap nilai eksentrisitas dari nol hingga tak hingga. Dalam setiap eksentrisitas memiliki pasangan P_n dan M_n masing-masing yang diplot dalam suatu diagram. Garis radial merepresentasikan eksentrisitas $e = M/P$. Sumbu vertikal merupakan nilai eksentrisitas $e = 0$ serta P_0 merupakan kapasitas kolom yang dibebani secara konsentris.

$$P_0 = 0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y \quad (2.6.161)$$

Sedangkan, sumbu horizontal merepresentasikan nilai eksentrisitas tak hingga yaitu lentur murni pada kapasitas momen M_0 . Eksentrisitas kecil menghasilkan keruntuhan yang ditentukan oleh keruntuhan tekan beton, sedangkan eksentrisitas besar menghasilkan keruntuhan tarik yang ditandai oleh luluhnya tulangan tarik.



Gambar 2.24 Diagram Interaksi Kolom dengan Beban Aksial dan Momen Lentur

3. Ragam Kegagalan Material Pada Kolom

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

$P_n < P_{nb}$ keruntuhan tarik

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

$P_n > P_{nb}$ keruntuhan tekan

a. Keruntuhan *balanced* pada kolom:

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d \quad (2.6.162)$$

$$\beta_1 \cdot C_b = \frac{600}{600 + f_y} \beta_1 \cdot d \quad (2.6.163)$$

$$P_{nb} = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a_b + A'_s \cdot f'_y - A_s \cdot f_y \quad (2.6.164)$$

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

(2.6.165)

$$\text{Dimana } f'_s = 0,003 \text{ Es } \frac{C_b - d'}{C_b} \leq f_y \quad (2.6.166)$$

b. Keruntuhan Tarik pada Kolom Segiempat:

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

$$P_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \quad (2.6.167)$$

$$M_n = P_n \cdot e = 0,85 f'_c \cdot b \cdot a \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A'_s \cdot f_y \cdot \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{h}{2} \right) \quad (2.6.168)$$

atau

$$M_n = P_n \cdot e = 0,85 f'_c \cdot b \cdot a \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{h}{2} \right) \quad (2.6.169)$$

$$\text{Jika } \rho = \rho' = \frac{A_s}{bd} \quad (2.6.170)$$

$$P_n = 0,85 f'_c \cdot b \cdot \left[\left(\frac{h}{2} - e \right) + \sqrt{\left(\frac{h}{2} - e \right)^2 + \frac{2A_s f_y (d - d')}{0,85 f'_c b}} \right] \quad (2.6.171)$$

$$\text{Dan jika } m = \frac{f_y}{0,85 f'_c}, \text{ maka :} \quad (2.6.172)$$

$$P_n = 0,85 f'_c \cdot b d \cdot \left[\frac{h - 2e}{2d} + \sqrt{\left(\frac{h - 2e}{2d} \right)^2 + 2m\rho \left(1 - \frac{d'}{d} \right)} \right] \quad (2.6.173)$$

c. Keruntuhan Tekan pada Kolom Segiempat:

Agar dapat terjadi keruntuhan yang diawali dengan hancurnya beton, eksentrisitas e gaya normal harus lebih kecil dari pada *eksentrisitas balanced* e_b , dan tegangan padatan tariknya lebih kecil dari pada tegangan leleh, yaitu $f_s < f_y$.

4. Kuat Geser Kolom

Menurut SNI-1726-2012, 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.

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

$$\phi V_n \geq V_n + V_c \quad (2.6.174)$$

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

$$V_c = \left(1 + \frac{Nu}{14.A_g} \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w \cdot d \quad (2.6.175)$$

Pada daerah sepanjang sendi plastis (sepanjang λ_o), **SNI-2847-2013** pasal **21.3.5.6** mensyaratkan untuk tetap meninjau V_c selama gaya tekan aksial termasuk akibat pengaruh gempa melebihi $A_g f'_c / 10$. Dalam hal ini sangat jarang gaya aksial kolom kurang dari $A_g f'_c / 10$. 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.

2.6.5 Dinding Geser / *Shearwall*

Dinding beton struktural atau yang biasa dikenal dengan dinding geser (*shearwall*) merupakan bagian dari suatu sistem struktur yang memikul beban-beban gravitasi maupun beban lateral yang bekerja pada struktur. Dibandingkan dengan sistem struktur rangka terbuka (*open frame*) sebuah dinding struktural atau *shearwall* memiliki kekakuan yang lebih baik, sehingga ketika memikul gaya geser dari komponen struktur lainnya akibat adanya gempa *shearwall* akan menunjukkan kinerja yang baik. *Shearwall* dapat dikalsifikasikan dalam 3 jenis, yaitu:

- 1) *Bearingwalls* adalah dinding geser yang juga mendukung sebagian besar beban gravitasi.
- 2) *Framewalls* adalah dinding geser yang menahan beban lateral, dimana beban gravitasi berasal dari frame beton bertulang.
- 3) *Corewalls* adalah dinding geser yang terletak didalam inti pusat dalam gedung.

Persyaratan Tulangan Dinding Struktural (SNI 2847:2013 Pasal 21.9.2)

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

$$A_s = \frac{P}{\phi \cdot f_y} \quad (2.6.176)$$

2. Pada *shear wall* yang mengalami aksial tekan, tegangan didukung oleh kuat tekan nominal beton dan sisanya didukung oleh tulangan.

$$A_s = \frac{P - (\phi \cdot x \cdot f' \cdot c)}{\phi \cdot x \cdot f_y} \quad (2.6.177)$$

Dimana:

- A_s = luasana tulangan yang dibutuhkan (cm^2)
 P = gaya aksial yang bekerja pada *shear wall*.
 f'_c = tegangan nominal dari beton.
 f_y = tegangan leleh dari baja.
 ϕ = 0,6 (tekan) dan 0,9 (tarik).

3. Menentukan kuat geser sesuai dengan SNI 03-2846-2013 pasal 11.9.6 untuk *shear wall* penahan gempa atau tidak menahan gempa.

$$V_c = 0,27 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot h d + \frac{N_u \cdot d}{4l_w} \quad (2.6.178)$$

$$V_c = \left[0,5 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} + \frac{l_w (\sqrt{f'_c} + 2 \frac{N_u}{l_w h})}{\frac{M_u}{V_u} - \frac{L_w}{2}} \right] \cdot h d \quad (2.6.179)$$

Dimana nilai V_c diambil yang paling kecil dari kedua persamaan diatas.

Dengan l_w adalah panjang keseluruhan dindingm dan N_u adalah positif untuk

tekan dan negatif untuk tarik. Persamaan diatas tidak berlaku bila $\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}$

bernilai negatif

4. Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 11.9.3 V_n pada semua penampang horizontal

untuk geser bidang dinding tidak boleh diambil lebih besar dari $0,85 \sqrt{f'_c} h d$,

dimana h adalah tebal dinding dan d didefinisikan dalam pasal 11.9.4.

5. Pasal 11. 9. 4 u ntuk desain gaya geser horizontal dalam bidang dinding, nilai d harus diambil sama dengan $0,8l_w$. Nilai d yang lebih besar, sama dengan jarak dari serat

tekan terjauh ke pusat gaya semua tulangan yang tertarik, boleh digunakan jika ditentukan dengan analisis kompatibilitas regangan.

6. Sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 11.9.8, apabila gaya geser terfaktor V_u adalah kurang dari pada $0,5\phi V_c$, maka tulangan harus disediakan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.9.9 atau sesuai dengan ketentuan dalam SNI 03-2847-2013 pasal 14 bila V_u melebihi $0,5\phi V_c$, tulangan geser harus dipasang menurut SNI 03-2847-2013 pasal 11.9.9.

Ketentuan-ketentuan tambahan khusus untuk shearwall penahan gempa

- a. Jarak antar tulangan masing-masing arah tidak boleh melebihi 450 mm.
- b. Paling sedikit harus dipasang tulangan dalam dua lapis apabila V_u

$$> 0,17A_{cv}\lambda\sqrt{f'c}$$

7. Special Boundary Element

Selama terjadinya gempa bumi, shearwall akan berperilaku seperti balok kantilever. Komponen batas atau special boundary element yang dipasang di ujung shearwall akan menerima beban yang cukup besar. Sendi plastis dapat terbentuk di dasar shearwall, sehingga diperlukan pendetailan tulangan guna memberikan kekuatan dan daktilitas.

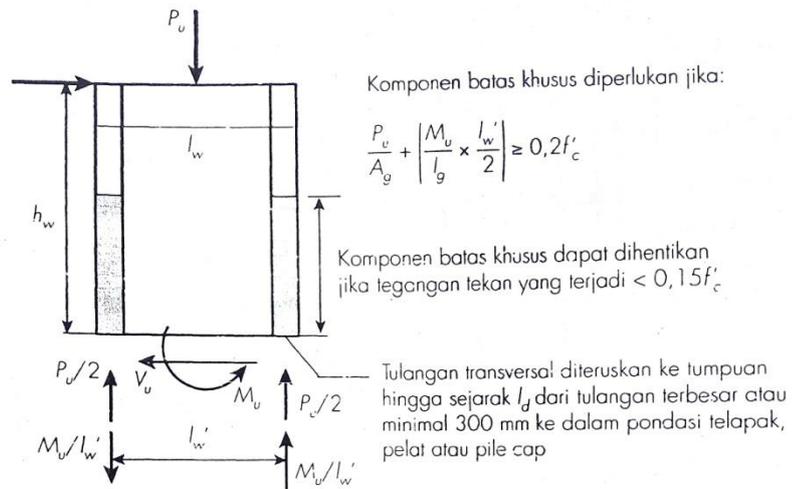
- a. Special boundary element diperlukan apabila:

- 1) Kombinasi momen dan gaya aksial terfaktor pada shearwall melebihi

$$0,2f'c$$

$$\frac{P_u}{A_g} + \left(\frac{M_u}{I} \times \frac{l_w}{2} \right) > 0,2f'c$$

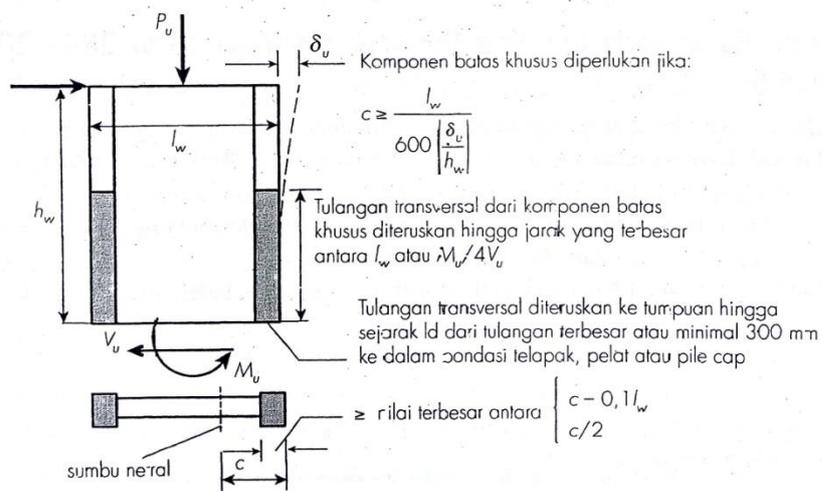
(2.6.180)



Gambar 2.25 Persyaratan Special Boundary Element Untuk Pendekatan Tegangan

2)

$$c > \frac{l_w}{600 \left(\frac{\delta_u}{h_w} \right)} \tag{2.6.181}$$



Gambar 2.26 Persyaratan Special Boundary Element Untuk Pendekatan Perpindahan

Dengan

$$\frac{\delta_u}{h_w} > 0,007 \tag{2.6.182}$$

Di mana:

δ_u
= Perpindahan rencana

h_w = Tinggi shearwall

l_w = Panjang keseluruhan dinding atau segmen dinding yang ditinjau dalam arah geser

c = Jarak dari serat tekan terluar ke sumbu netral

b. Panjang special boundary element harus diambil yang terbesar dari

persamaan berikut:

$$c - 0,1l_w \quad (2.6.183)$$

Atau

$$\frac{c}{2} \quad (2.6.184)$$

c. Penulangan special boundary element

Jarak maksimum antar hoops harus kurang dari atau sama dengan 150 mm

dan diambil nilai terkecil di antara:

- 1) $\frac{1}{4}$ panjang sisi terpendek
- 2) 6 kali diameter tulangan longitudinal

$$3) \quad s_x \leq 100 + \frac{350 - \left(\frac{2}{3}h_c\right)}{3} \quad (2.6.185)$$

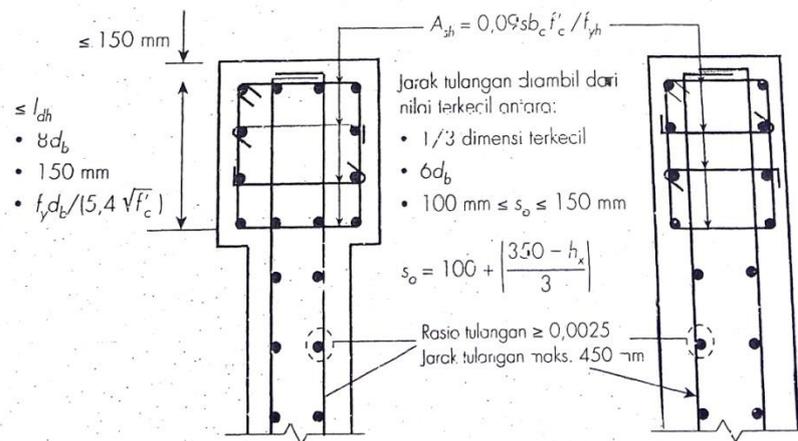
Luas tulangan pada special boundary element

$$A_{sh} = \frac{0,09sh_c f'_c}{f_{yh}} \quad (2.6.186)$$

h_c = dimensi inti, jarak yang diukur dari centroid ke centroid

hoops

A_{sh} = luas penampang tulangan total yang dibutuhkan



Gambar 2.27 Detail Penulangan Special Boundary Element

2.7 Analisa Struktur Menggunakan Perangkat Lunak ETABS 2013 v 13.1.1

Perangkat lunak ETABS 2013 v 13.1.1 adalah salah satu program analisa struktur yang telah dikenal luas di kalangan Teknik Sipil. Seiring dengan perkembangannya perangkat keras komputer, terutama prosesor yang mempunyai kemampuan kecepatan semakin tinggi, perangkat lunak juga berkembang mengikuti kemajuan perangkat keras.

Secara umum, perancangan model struktur baik *truss* maupun *frame* dengan perangkat lunak ETABS 2013 v 13.1.1 ini akan melalui 10 tahapan yaitu :

1. Samakan satuan
2. Buat model struktur

3. Definisikan material yang akan digunakan
4. Definisikan profil penampang yang digunakan
5. Aplikasikan profil pada Struktur
6. Definisikan beban
7. Aplikasikan beban
8. Cek model struktur
9. Jalankan analisa
10. Cek hasil analisa

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.