

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Umum

Tujuan utama dari struktur adalah memberikan kekuatan pada suatu bangunan. Struktur bangunan di pengaruhi 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.

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 Perencanaan Struktur Atas (*Upper Structure*)

Struktur atas adalah struktur bangunan yang secara visual berada diatas tanah, yang terdiri dari struktur rangka atap baja dan struktur portal utama yaitu kesatuan antara balok dan kolom dan struktur sekunder seperti pelat, balok anak.

2.2.1 Rangka Atap

Struktur bangunan terdiri dari struktur bawah dan struktur atas. Struktur bawah yaitu pondasi dan struktur atas yaitu dari sloof sampai atap. Konstruksi atap adalah bagian paling atas dari suatu bangunan, permasalahan konstruksi atap tergantung pada luasnya ruang yang harus dilindungi, bentuk dan konstruksi yang dipilih, dan lapisan penutupnya. Struktur atap ada tiga bagian ,yaitu kuda-kuda,

rangka atap, dan penutup atap. Pengaruh lingkungan luar terhadap atap menentukan pilihan bahan yang digunakan. Pengaruh luar umumnya suhu (sinar matahari), cuaca (air hujan dan kelembaban udara), serta keamanan terhadap kebakaran (petir dan bunga api) sehingga atap harus memenuhi kebutuhan terhadap keamanan dan kenyamanan. Setiap susunan rangka batang struktur atap haruslah merupakan satu kesatuan bentuk yang kokoh yang nantinya mampu memikul beban yang bekerja padanya tanpa mengalami perubahan.

Untuk perencanaan gedung ini digunakan rangka atap baja Canal, rangka atap baja Canal adalah Baja profil yang diciptakan untuk memudahkan perakitan atap baja canal dan konstruksi sipil. Berbeda dengan baja berat konvensional, baja canal merupakan baja mutu tinggi yang memiliki sifat ringan dan tipis, namun memiliki fungsi setara baja konvensional.

Rangka atap baja canal memiliki kelebihan dan kekurangan sebagai berikut:

Kelebihan:

1. Berat struktur 7 – 10 kg/m, sehingga beban yang harus di pikul oleh struktur dibawahnya relatif lebih ringan.
2. Baja canal bersifat tidak membesarkan api.
3. Tidak bisa dimakan rayap.
4. Pemasangan relatif lebih cepat
5. Baja canal tidak memiliki nilai muai dan susut, jadi tidak berubah karena panas dan dingin.

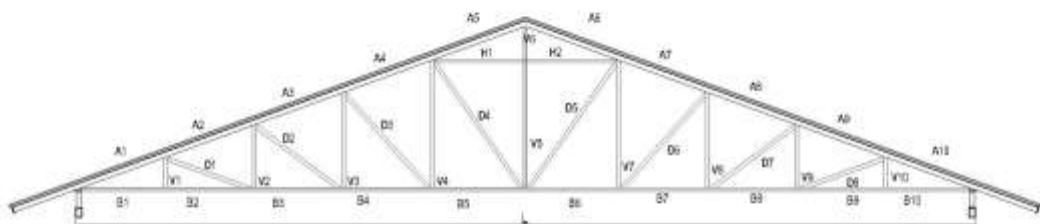
Kekurangan:

1. Rangka atap baja canal tidak bisa diekspos seperti kayu, karena sistem

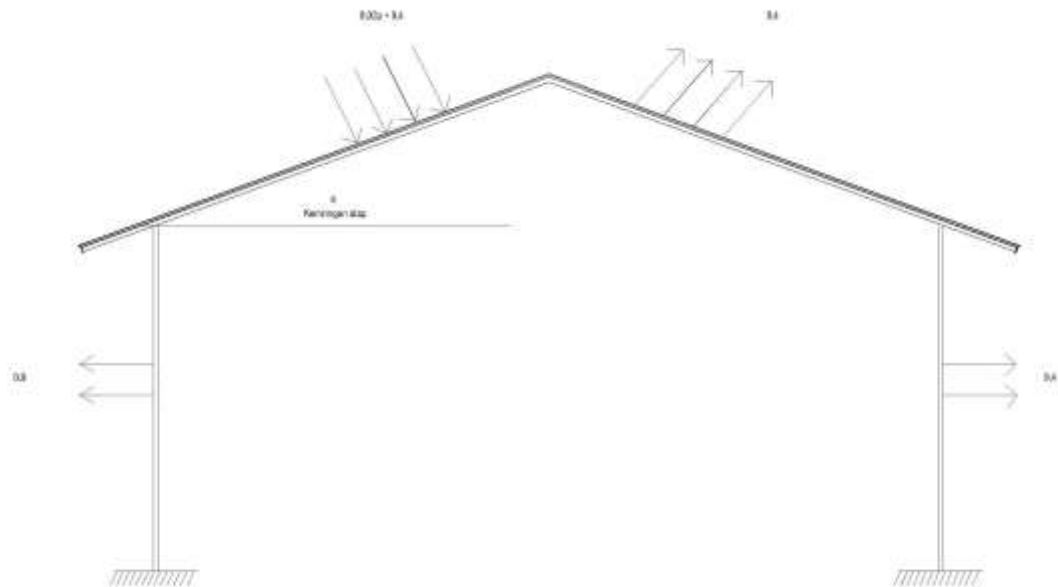
rangkanya berbentuk jaring kurang menarik jika tanpa penutup penutup plafon.

2. Struktur rangka atap baja canal yang seperti jaring, jika salah satu bagian kurang memenuhi syarat keamanan, maka kegagalan bisa terjadi secara keseluruhan. (*biasanya perhitungan strukturnya langsung dilakukan oleh structural engineer dari aplikatornya*).

3. Rangka atap baja canal tidak sefleksibel kayu yang dapat di potong dan dibentuk berbagai profil. Jarak antar kuda- kuda atap baja canal cenderung lebih rapat. Semakin besar beban yang harus dipikul, jarak kuda – kuda semakin pendek. Misalnya untuk genteng dengan bobot 40 kg/m^2 jarak kuda – kuda bisa pasang setiap 1,4m. sementara bila bobot gentengnya mencapai 75 kg/m^2 , maka jarak antar kuda – kuda menjadi 1,2m.



Gambar 2.1 Rencana atap Baja Canal



Gambar 2.2 Koefisien angin tekanan dan hisapan

Dengan bantuan program SAP 2000 versi 14, gaya-gaya batang dari rangka dapat dihitung untuk kemudian menentukan dimensi struktur. Untuk persyaratan perencanaan kanstruksi baja canal adalah:

1. Perencanaan panjang panjang *truss*.
2. Perencanaan gording.
 - a. Pembebanan:

Beban mati (DL):

- Berat penutup atap
- Berat sendiri reng/gording

$$q_x = q \cdot \sin \alpha$$

$$q_y = q \cdot \cos \alpha$$

Beban hidup (LL):

- Beban terpusat P (orang dan alat)

$$P_x = P \cdot \sin \alpha$$

$$P_y = P \cdot \cos \alpha$$

Beban angin (WL):

- Kemiringan atap = ($\alpha = 20^\circ$)
- Jarak antar reng = (A1)
- Daerah jauh dari tepi laut, diambil minimum 25kg/m² dan diambil minimum 40 kg/m² pada daerah dekat tepi laut

$$\text{Koefisien angin tekan} = 0,2 (\alpha) - 0,4$$

- Koefisien angin hisap = - 0,4
- Angin tekan = $(0,2 \times (\alpha) - 0,4) \times 25 \times A1$
- Angin hisap = $- 0,4 \times 25 \times A1$
- Beban angin untuk tiap titik $P_i = (0,22 \alpha + 0,4) A \cdot W$
- Angin hisap = $0,4 \cdot A \cdot W$

b. Perencanaan struktur reng/gording baja canal menggunakan SAP 2000 versi 14

- Menggambar model reng/gording dengan dukungan jepit - jepit
- Memilih dimensi penampang profil reng/gording (*Cold formed*)
- Mendefinisikan kombinasi beban rencana
- Menghitung beban yang bekerja
- Memeriksa input data

- Analisis struktur

3. Perencanaan dimensi rangka baja canal

a. Pembebanan:

Beban mati (DL):

- Berat penutup atap
- Berat sendiri reng/gording
- Berat penutup plafon dan alat penggantung

Beban hidup (LL):

- Beban terpusat P (orang dan alat)

Beban angin (WL):

- Besar beban tekanan angin ($\alpha = 20^\circ$)
- Daerah jauh dari tepi laut, diambil minimum 25 kg/m^2 dan diambil minimum 40 kg/m^2 pada daerah dekat tepi laut
- Jarak antar kuda – kuda $= L1$
- Koefisien angin tekan $= 0,2 (\alpha) - 0,4$
- Koefisien angin hisap $= - 0,4$
- Angin tekan $= (0,2 \times (\alpha) - 0,4) \times 25 \times A1 \times L1$

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

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

- Angin hisap $= - 0,4 \times 25 \times A1 \times L1$

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

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

c. Perencanaan struktur rangka baja ringan menggunakan SAP 2000 versi 14

- Menggambar rangka baja canal/channel dengan tiap ujung joint dari element dimodelkan sendi – rol.
- Memilih dimensi penampang profil reng/gording (*Cold formed*)
- Mendefinisikan kombinasi beban rencana
- Menghitung beban yang bekerja
- Memeriksa input data
- Analisis struktur

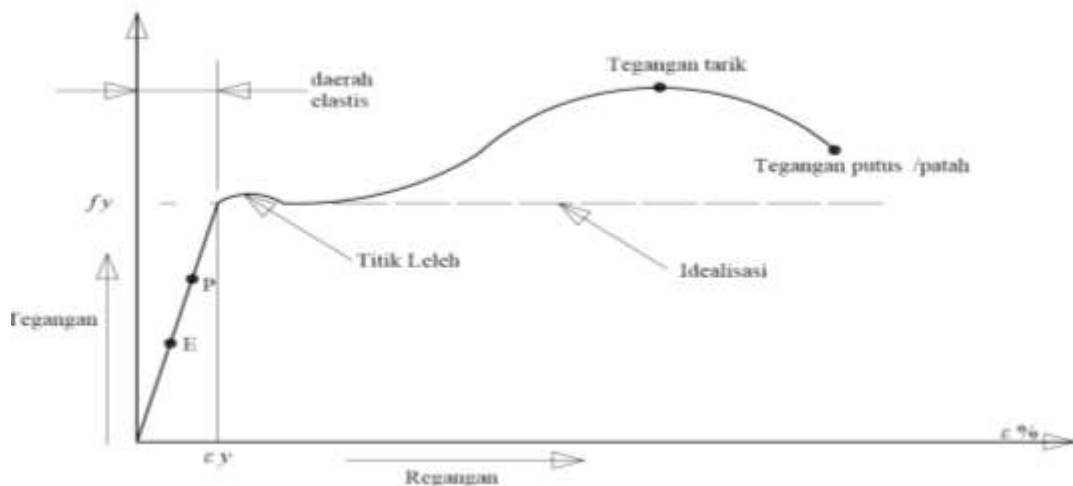
2.2.1.1 Tegangan Regangan

Titik-titik penting dalam kurva tegangan-regangan adalah sebagai berikut,

Titik-titik ini membagi kurva tegangan-regangan menjadi beberapa daerah, yaitu:

- a) Daerah linear antara titik 0 dan f_p , pada daerah ini berlaku Hukum Hooke,

$$\Delta L = \frac{P.L}{E.A} \dots\dots\dots(2.14)$$



Gambar 2.3 : Diagram Tegangan Regangan

dimana,

$f = P/A$ = tegangan.

$\varepsilon = \Delta L / L$ = regangan.

$E = f / \varepsilon$ = Young modulus = modulus elastisitas.

F_p = batas proporsional.

f_e = batas elastis.

f_y u, f_y = tegangan leleh atas dan bawah.

f_u = tegangan ultimate.

- a) Daerah elastis dari 0 sampai f_e , yaitu apabila beban yang bekeja pada benda uji dihilangkan maka benda uji akan kembali ke bentuk semula (masih elastis).
- b) Daerah plastis dibatasi dari f_e sampai dengan regangan 2% (0,02), daerah dimana dengan tegangan yang hampir konstan mengalami regangan yang besar. Metode perencanaan plastis menggunakan daerah ini untuk menentukan kekuatan plastis. Daerah ini juga menunjukkan tingkat daktilitas dari material baja.
- c) Daerah antara regangan sampai ε_{sh} pada daerah dimana benda uji sudah putus dinamai daerah penguatan regangan (*strain hardening*). Setelah melewati daerah plastis tegangan kemudian naik kembali namun dengan regangan yang lebih besar, sampai pada puncaknya dimana terdapat tegangan ultimate (f_u), setelah itu terjadi penurunan tegangan namun regangan terus bertambah, sampai kemudian benda uji menjadi putus.

Sifat mekanik tiap jenis baja dapat dilihat dalam tabel berikut,

Tabel 2.1 : Sifat Mekanik Baja .

Jenis Baja	Tegangan Putus Minimum f_u (MPa)	Tegangan Leleh Minimum f_y (MPa)	Peregangan Minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 56	550	410	13

Sifat-sifat mekanis lainnya baja struktural untuk maksud perencanaan ditetapkan (SNI 03- 1729-2002) sebagai berikut:

Modulus elastisitas : $E = 200.000 \text{ MPa}$

Modulus geser : $G = 80.000 \text{ MPa}$

Nisbah poisson : $\mu = 0,3$

Koefisien pemuaian : $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

2.2.1.2 Gording

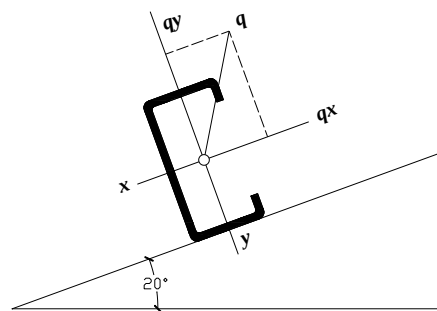
Gording membagi bentangan atap dalam jarak-jarak yang lebih kecil pada proyeksi horizontal. Gording meneruskan beban dari penutup atap, seng, usuk, orang, beban angin, beban air hujan pada titik- titik buhul kuda-kuda, biasanya tegak lurus dengan arah kuda-kuda. Gording menjadi tempat ikatan bagi usuk, dan posisi gording harus disesuaikan dengan panjang usuk yang tersedia. Adapun langkah dalam perhitungan gording yaitu:

- Perhitungan panjang balok
- Perhitungan dimensi gording

c) Pembebanan

1). Beban Mati/dead load

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



Gambar 2.4 Gaya kerja pada gording

$$q_x = q \cdot \sin a$$

$$q_y = q \cdot \cos a$$

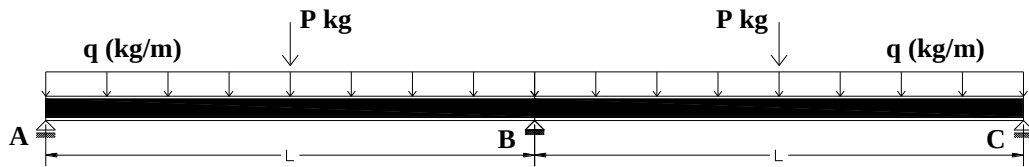
Dimana :

q_x : Beban mati arah x

q_y : Beban mati arah y

a : Sudut kemiringan

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



Gambar 2.5 Beban hidup yang bekerja pada gording

Perhitungan Momen maksimum akibat beban mati menggunakan rumus persamaan tiga momen :

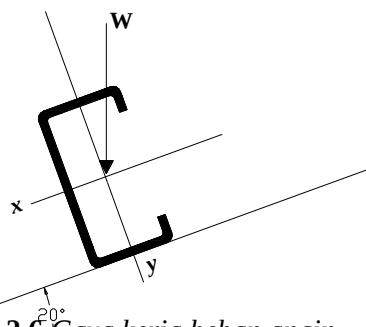
Persamaan Tiga Momen

Bentang ABC

$$MA \left(\frac{L_1}{I_1} \right) + 2MB \left(\frac{L_1}{I_1} + \frac{L_2}{I_2} \right) + MC \left(\frac{L_2}{I_2} \right) = -6 \frac{\alpha_1 (A_1 + A'_1)}{IL_1} - 6 \frac{(A'_2 + A_2) \alpha_2}{IL_2} \dots\dots\dots (2.15)$$

2). Beban Angin

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 25 kg/m².



Gambar 2.6 Gaya kerja beban angin

- Kontrol Tegangan

Kontrol Tegangan untuk Mutu Baja BJ37

$$\sigma_{ijin} = \frac{f_y}{1,5} = \frac{2400}{1,5} = 1600 \text{ kg/cm}^2$$

Akibat Beban Mati + Beban Hidup

$$\sigma = \frac{M_x}{W_y} + \frac{M_y}{W_x} \leq \bar{\sigma} = 1600 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots(2.16)$$

Akibat Beban Mati + Beban Hidup + Beban Angin

$$\sigma = \frac{M_x}{W_y} + \frac{M_y}{W_x} \leq 1,3. \bar{\sigma} = 1600 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana:

σ : Tegangan yang bekerja

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

W_x : Beban arah x

W_y : Beban arah y

3) Kontrol Lendutan

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

$$f_x = \frac{5 \cdot q_x \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_y} + \frac{1 \cdot P_x \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_y} \dots\dots\dots(2.18)$$

$$f_y = \frac{5 \cdot q_y \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_x} + \frac{1 \cdot P_y \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_x} \dots\dots\dots(2.19)$$

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

2.2.1.3 Perencanaan sambungan

Sambungan sekrup adalah Jenis sambungan yang paling banyak digunakan pada rangka baja channel. parameter sambungan sekrup sebagai berikut:

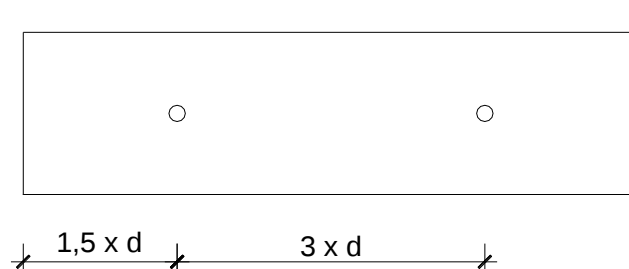
- Minimal dipakai 2 buah sekrup

- Jarak minimum antar sekrup

$$3 \times d_f \text{ (} 3 \times \text{ diameter sekrup)}$$

- Jarak minimum sekrup menuju ujung profil

$$1,5 \times d_f \text{ (} 1,5 \times \text{ diameter sekrup)}$$



Gambar 2.7 Pembatasan antar sekrup

Sambungan sekrup yang dibebani geser dapat gagal dalam satu atau beberapa mode kegagalan. Mode tersebut adalah mode kegagalan geser sekrup, robekan tepi, miring dan tercabutnya sekrup, 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 sekrup ditentukan dengan rumus:

- Tegangan dasar

$$\bar{\sigma} = \frac{\bar{\sigma}_t}{1,5}$$

- Tegangan ijin sekrup

$$\bar{\sigma}_{gs} = 0,6 \times \bar{\sigma}$$

- Tegangan tarik sekrup

$$\bar{\sigma}_{tr} = 0,7 \times \bar{\sigma}$$

- Tegangan tumpu

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

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

- Menentukan kekuatan satu sekrup

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

$$Nt_p = t \times d \times \bar{\sigma}_{tu}$$

- Jumlah sekrup yang dibutuhkan

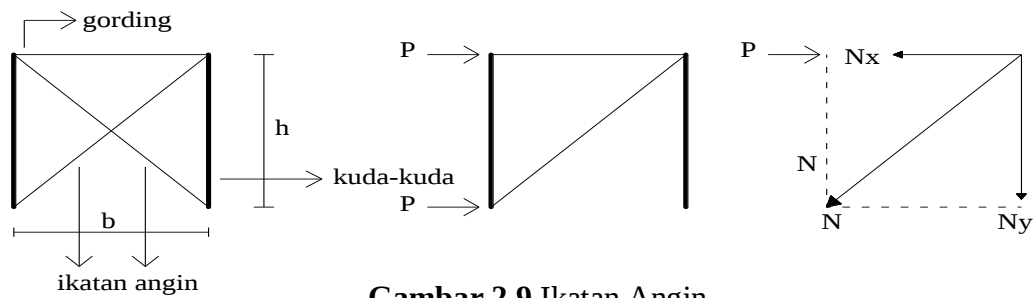
$$n = \frac{p}{p^1}$$

Ukuran	Jarak antar ulir P	Tinggi ulir H	Diameter luar	Diameter efektif	Diameter dalam
M4	0,7	0,379	4,000	3,515	3,242
M5	0,8	0,433	5,000	4,480	4,134
M6	1	0,541	6,000	5,350	4,917
M7	1	0,541	7,000	6,350	5,917
M8	1,25	0,677	8,000	7,188	6,647
M9	1,25	0,677	9,000	8,188	7,647
M10	1,5	0,812	10,000	9,026	8,376
M11	1,5	0,812	11,000	10,026	9,378
M12	1,75	0,947	12,000	10,863	10,106
M14	2	1,083	14,000	12,701	11,835
M16	2	1,083	16,000	14,701	13,835
M18	2,5	1,353	18,000	16,376	15,294
M20	2,5	1,353	20,000	18,376	17,294
M22	2,5	1,353	22,000	20,376	19,294
M24	3	1,624	24,000	22,051	20,752
M27	3	1,624	27,000	25,051	23,752
M30	3,5	1,894	30,000	27,727	26,211
M33	3,5	1,894	33,000	30,727	29,211
M36	4	2,165	36,000	34,402	31,670
M39	4	2,165	39,000	36,402	34,670
M42	4,5	2,436	42,000	39,077	37,129
M45	4,5	2,436	45,000	42,077	40,129
M48	5	2,706	48,000	44,752	42,857
M52	5	2,706	52,000	48,752	46,587
M56	5,5	2,977	56,000	52,428	50,046
M60	5,5	2,977	60,000	56,428	54,046
M64	6	3,248	64,000	60,103	57,505
M68	6	3,248	68,000	64,103	61,505

Gambar 2.8 Tabel daya dukung sekrup

Bracing (Pengikat 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 2.9 Ikatan Angin

Pengaku (Bracing) adalah pengaku-pengaku yang mutlak diperlukan agar seluruh kuda-kuda dapat bekerja sebagai satu sistem rangka atap. Bracing bermacam-macam yaitu Top Chord Bracing, BC Bracing, Diagonal Web Bracing (Ikatan Angin), Lateral Tie.

Top chord adalah batang yang berada di sisi atas kuda-kuda, pada batang ini biasanya ditempatkan reng. Dalam analisa, biasanya batang ini selalu mengalami gaya tekan Profil baja yang digunakan adalah profil C dan profil Z.

Fungsi : Sebagai pengaku batang tekan (Top Chord/ TC).

Bottom chord adalah batang yang berada di sisi bawah kuda-kuda, pada batang ini biasanya ditempatkan plafon dan penggantungnya. Dalam analisa, biasanya batang ini selalu mengalami gaya tarik Kadang-kadang dikehendaki adanya plafon miring, sehingga batang tepi bawah ini juga dibuat miring, sesuai dengan kemiringan plafon. Profil baja yang digunakan adalah profil C atau Z.

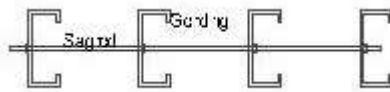
Fungsi : Sebagai pengaku batang tarik (Bottom Chord/ BC)

Web adalah batang-batang penghubung antara BC dan TC, fungsi utama batang ini adalah memperkuat dan mendistribusikan beban sehingga semua beban yang bekerja pada kuda-kuda dapat ditopang dengan baik oleh kuda-kuda. Profil yang digunakan adalah C.

Fungsi : Sebagai pengaku/ penghubung antar kuda-kuda, dan meneruskan gaya dari lateral tie.

Pengaku yang berfungsi untuk mengurangi panjang tekuk web tekan. Railing pada kuda-kuda standart juga berfungsi sebagai struktur pengurang panjang tekuk.

Perhitungan batang tarik sagrod/trackstang :



Gambar 2.10 Sagrod/trackstang

Batang tarik (sagrod/trackstang) berfungsi untuk mengurangi lendutan gording pada arah sumbu x (miring atap) sekaligus untuk mengurangi tegangan lendutan yang timbul pada arah x. Beban-beban yang dipikul oleh trackstang yaitu beban-beban yang 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 gording arah sumbu x

P_x = Beban hidup arah sumbu x

$$P_{\text{total}} = G_x + P_x = (q_x \cdot L) + P_x \dots\dots\dots(2.24.1)$$

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

$$P = P_{\text{total}} / 2 = (q_x \cdot L) + P_x / 2 \dots\dots\dots(2.24.2)$$

$$\sigma = \frac{P}{F_n} \leq \bar{\sigma} = 1600 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots(2.24.3)$$

$$F_n = \frac{P}{\sigma} \dots\dots\dots (2.24.4)$$

Dimana :

P : Beban hidup (D, L, W)

q_x : beban mati arah x

L : lebar bentang

F_n : gaya yang terjadi

2.2.2 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

$$U = 1,4 D \dots\dots\dots (2.3.7)$$

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

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R) \dots\dots\dots (2.3.8)$$

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:

$$U = 1,2 D + 1,6 (A \text{ atau } R) + (1,0 L \text{ atau } 0,5 W) \dots\dots\dots (2.3.9)$$

$$U = 1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (A \text{ atau } R) \dots\dots\dots (2.3.10)$$

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

$$U = 0,9 D \pm 1,0 W \dots\dots\dots (2.3.11)$$

Perlu dicatat bahwa untuk setiap kombinasi beban D , L , dan W , kuat perlu U tidak boleh kurang dari Pers. (2.3.8)

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

$$U = 0,9 D \pm 1,0 E \dots\dots\dots (2.3.12)$$

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*)

2.2.3 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.

2.3 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).

2.3.1 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
 - Ø boleh ditingkatkan secara linier dari : 0,75-0,90

2.4 Beton Bertulang

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat-agregat lain dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu massa mirip batuan. Terkadang, satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (*workability*), durabilitas dan waktu pengerasan. (Mc Cormac, 2004:1).

Sifat utama dari beton, yaitu sangat kuat terhadap beban tekan, tetapi juga bersifat getas/mudah patah atau rusak terhadap beban Tarik. Dalam perhitungan struktur, kuat tarik beton ini biasanya diabaikan. Sedangkan sifat utama besi tulangan, yaitu kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan.

Dari sifat utama tersebut, maka jika kedua bahan (beton dan besi tulangan) dipadukan menjadi satu-kesatuan secara komposit, akan diperoleh bahan baru yang disebut beton bertulang. Beton bertulang ini mempunyai sifat sesuai dengan sifat bahan penyusunnya, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Beban tarik pada beton bertulang ditahan oleh tulangan, sedangkan beban tekan cukup ditahan oleh beton.

Untuk meningkatkan kekuatan lekatan antara tulangan dengan beton di sekelilingnya telah dikembangkan jenis tulangan uliran pada permukaan tulangan, yang selanjutnya disebut sebagai baja tulangan *deform* atau ulir. Mengacu SII 0136-80, Dipohusodo menyebutkan pengelompokan baja tulangan untuk beton bertulang sebagaimana ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 2.2 Jenis dan kelas baja tulangan menurut SII 0136-80

Jenis	Kelas	Simbol	Batas Ulur Maksimum (MPa)	Kuat Tarik Minimum (MPa)
Polos	1	BJTP-24	235	382
	2	BJTP-30	294	480
Ulir	1	BJTD-24	235	382
	2	BJTD-30	294	480

	3	BJTD-35	343	490
	4	BJTD-40	392	559
	5	BJTD-50	490	610

Sumber : SII 0136-80

Berdasarkan SNI 03-2847-2013, untuk melindungi tulangan terhadap bahaya korosi maka di sebelah tulangan luar harus diberi selimut beton. Untuk beton bertulang, tebal selimut beton minimum yang harus disediakan untuk tulangan harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

Tabel 2.3 Batasan tebal selimut beton

Kondisi Struktur	Tebal Selimut
a) Beton yang dicor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah	70
b) Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca : - Batang D-19 hingga D-56 - Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau ulir D16 dan yang lebih kecil	50 40
c) Beton yang tidak langsung berhubungan dengan cuaca atau tanah : <u>Pelat dinding, pelat berusuk :</u> - Batang D-44 dan D-56 - Batang D-36 dan yang lebih kecil <u>Balok, kolom :</u>	40 20 40

- Tulangan utama, pengikat, sengkang, lilitan spiral	
<u>Komponen struktur cangkang, pelat melipat :</u>	20
- Batang D-19 dan yang lebih besar	
- Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau ulir D16 dan yang lebih kecil	15

Sumber : SNI 03-2847-2013

2.5 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)

2.5.1 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:

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 2.4 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

Sumber: *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung SKBI – 1.3.53.1987*

2. Beban Hidup (LL)

Beban hidup ialah 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.

a) Beban hidup pada lantai gedung

Beban hidup yang digunakan mengacu pada standar PPURG tahun 1987 , yaitu sebesar 250 kg/m²

b) Beban hidup pada atap gedung

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

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.

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

- tekanan tiup harus diambil minimum 25 kg/m^2
- tekanann 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 :

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

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

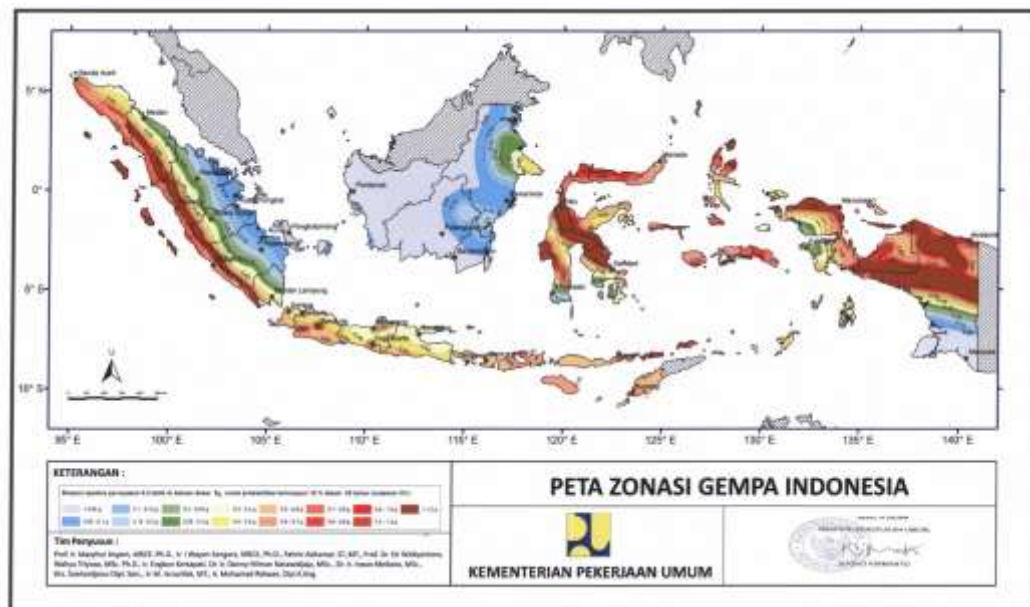
- Dipihak angin : $\alpha < 65^\circ$ $0,02\alpha - 0,4$
 $65^\circ < \alpha < 90^\circ$ + 0,90
- Dibelakang angin, untuk semua α - 0,40

4. Beban Gempa (E)

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 fondasi, 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.

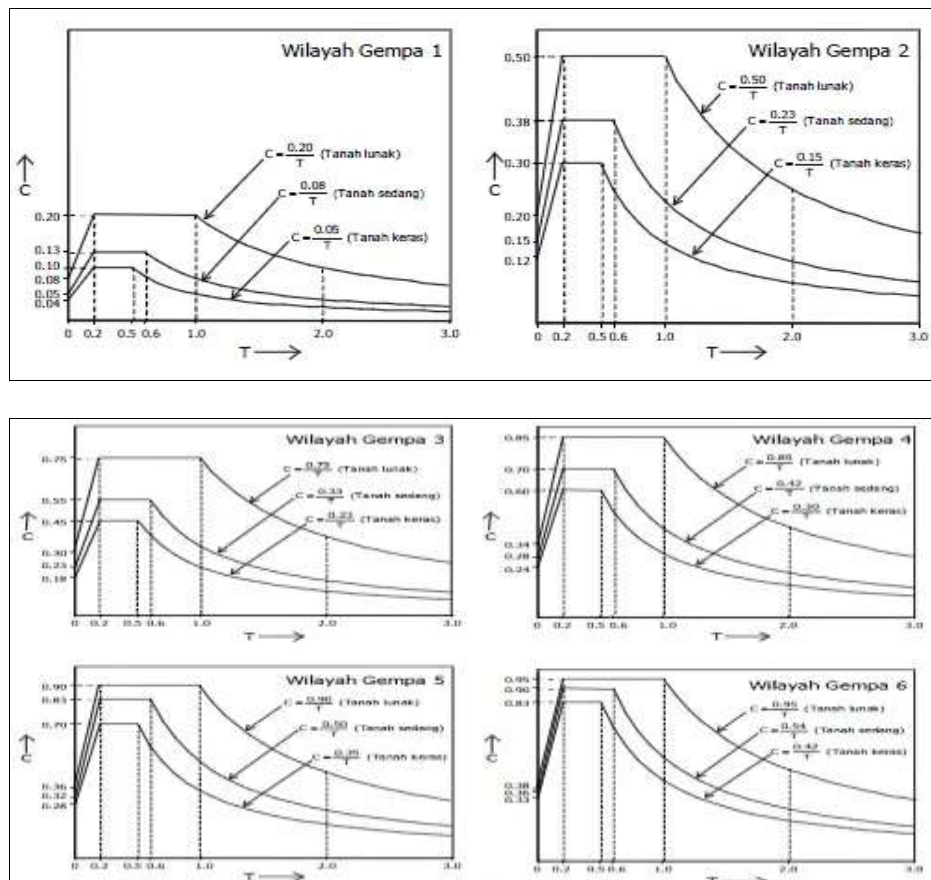
Secara umum dalam peraturan SNI-1726-2012 proses garis besarnya masih sama, namun zonasi gempanya sudah lebih detail (halus) dibandingkan peraturan SNI-1726-2002. Tiap kota atau tempat di Indonesia akan memiliki grafik spectrum respons masing-masing, tidak hanya terbatas pada 6 Wilayah Gempa seperti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



Gambar 2.11 Peta Zonasi Gempa Indonesia

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

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



Gambar 2.12 Respons Spektrum Gempa Rencana

Sumber: SNI (03-1726-2002)

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 :

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

Keterangan :

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

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

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

Keterangan :

S_{DS} = parameter percepatan spectrum respons desain dalam rentang
periode 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 :

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

dan

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

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 :

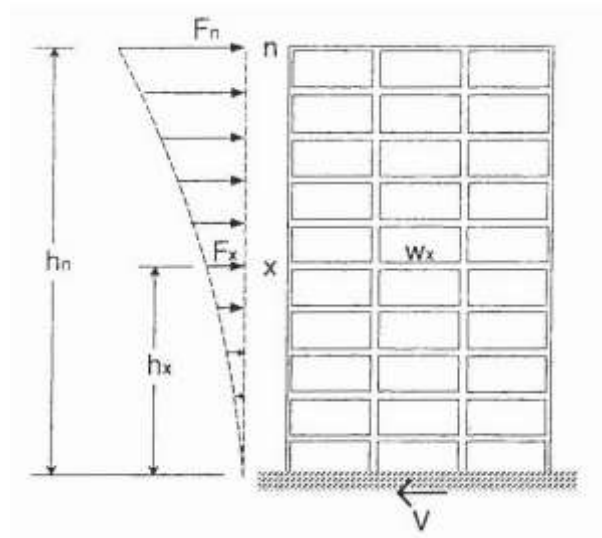
untuk struktur yang mempunyai peropda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$ untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

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

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

Keterangan :

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



Gambar 2.13 Distribusi vertikal gaya gempa, gaya gempa lateral

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.

5. Beban Hujan

Unsur beban air hujan jarang di perhitungkan ketika struktur bangunan (gedung) menggunakan rangka atap, karena ketika hujan terjadi air yang jatuh mengenai atap akan terus jatuh ke permukaan tanah dengan cepat.

6. 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.

2.5.2 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 :

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

$$U = 1,4 D \dots\dots\dots (2.3.7)$$

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

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R) \dots\dots\dots (2.3.8)$$

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:

$$U = 1,2 D + 1,6 (A \text{ atau } R) + (1,0 L \text{ atau } 0,5 W) \dots\dots\dots (2.3.9)$$

$$U = 1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (A \text{ atau } R) \dots\dots\dots (2.3.10)$$

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

$$U = 0,9 D \pm 1,0 W \dots\dots\dots (2.3.11)$$

Perlu dicatat bahwa untuk setiap kombinasi beban D , L , dan W , kuat perlu U tidak boleh kurang dari Pers. (2.3.8)

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

$$U = 0,9 D \pm 1,0 E \dots\dots\dots (2.3.12)$$

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*)

2.5.3 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.

2.6 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).

2.6.1 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 :

2. 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
8. Tumpuan pada beton	: 0,65
9. Daerah angkur pasca tarik	: 0,85
10. Model strat dan pengikat, dan strat, pengikat, daerah pertemuan (nodal), dan daerah tumpuan dalam model tersebut	: 0,75
11. Penampang lentur dalam komponen struktur pratarik dimana penanaman <i>strand</i> 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

2.7 Desain Elemen Struktur

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 di izinkan. 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 strukrur dapat ditentukan pada taraf yang dipandang masih dapat diterima secara aman, dan sedemikian hingga kelebihan tegangan pada material (misalnya ditunjukan 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.

2.7.1. Pelat Lantai

Pelat beton bertulang adalah struktur tipis yang dibuat dari beton bertulang dengan bidang yang arahnya horizontal, beban yang bekerja tegak lurus pada bidang struktur tersebut. Ketebalan bidang pelat ini relatif sangat kecil apabila dibandingkan dengan bentang panjang/lebar bidangnya. Pelat beton bertulang ini sangat kaku dan arahnya horizontal, sehingga pada

bangunan gedung, pelat ini berfungsi sebagai diafragma / unsur pengaku horizontal yang sangat bermanfaat untuk mendukung ketegaran balok portal.

Pelat menerima beban yang bekerja tegak lurus terhadap permukaan pelat. Berdasarkan kemampuannya untuk menyalurkan gaya akibat beban, pelat dibedakan menjadi :

1. Pelat satu arah

Pelat satu arah adalah pelat dengan tulangan pokok satu arah yang akan dijumpai jika pelat beton lebih dominan menahan beban yang berjumpa momen lentur pada bentang satu arah saja.

Dalam SNI 2847:2013 pasal 9.5 Bila lendutan harus dihitung, maka lendutan yang terjadi seketika sesudah bekerjanya beban harus dihitung dengan metoda atau formula standar untuk lendutan elastis, dengan memperhitungkan pengaruh retak dan tulangan terhadap kekakuan komponen struktur.

Tabel 2.5 Tebal minimum balok nonprategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung

Tebal minimum, h				
Komponen struktur	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu-arah	1/20	1/24	1/28	1/10
Balok atau pelat	1/16	2/18,5	1/21	1/8

rusuk satu-arah				
-----------------	--	--	--	--

CATATAN :

Panjang bentang dalam mm.

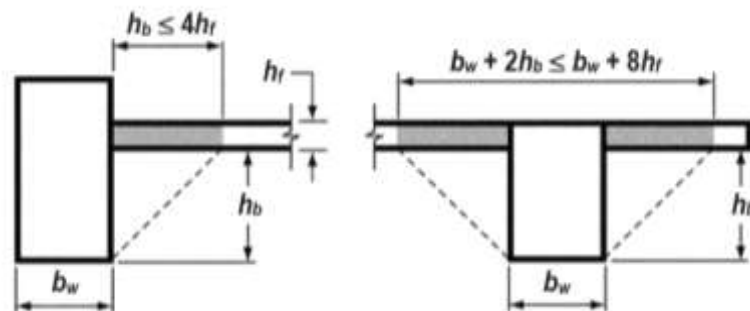
Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan Mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasi sebagai berikut :

- (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (*equilibrium density*), W_c , di antara 1440 sampai 1840 kg/m³, nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003W_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09.
- (b) Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$.

2. Pelat dua arah

Ketentuan Pasal 13 SNI 2847:2013 berlaku untuk Pelat dua arah dengan tulangan pokok dua arah yang akan dijumpai jika pelat beton menahan beban yang berupa momen lentur pada bentang dua arah.

Untuk konstruksi monolit, atau komposit penuh, suatu balok mencakup bagian slab pada setiap sisi balok yang membentang dengan jarak yang sama dengan proyeksi balok di atas atau di bawah slab tersebut, yang mana yang lebih besar, tetapi tidak lebih besar dari empat kali tebal slab.



Gambar 2.14 Contoh bagian slab yang disertakan dengan balok

(Sumber: G.Nawy,P.E.)

Luas tulangan slab dalam masing-masing arah untuk sistem slab dua arah harus ditentukan dari momen-momen pada penampang kritis, tetapi tidak boleh kurang dari yang disyaratkan.

Pelat lantai yang dirancang adalah pelat lantai dua arah yang didukung pada keempat sisinya. Untuk memudahkan perancangan akan digunakan tabel dari grafik dan hitungan beton bertulang berdasarkan **SNI – 2847 – 2013**.

Syarat tebal pelat minimum menurut **SNI – 2847 – 2013** adalah 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
3. Untuk $0,2 \leq \alpha_m \leq 2,0$ ketebalan pelat minimum harus memenuhi persamaan sebagai berikut ini:

$$h = \frac{\ell_n \left[0,8 + \frac{f_y}{1400} \right]}{36 + 5, \beta, (\alpha_m - 0,2)} \dots\dots\dots (2.5.1)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm

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

$$h = \frac{\ell_n \left[0,8 - \frac{f_y}{1400} \right]}{36 - 9, \beta} \dots\dots\dots (2.5.2)$$

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.

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.

$$5. \alpha = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cp} I_p} \dots\dots\dots (2.5.3)$$

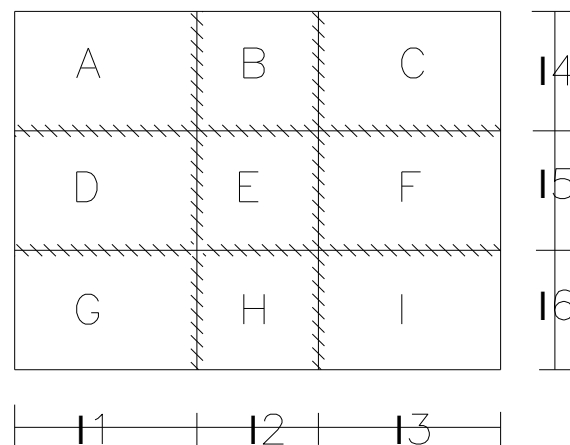
dengan:

E_{cb} = modulus elastisitas balok beton

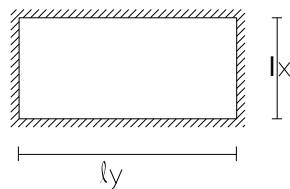
E_{cp} = modulus elastisitas pelat beton

I_b = momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok

I_p = momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat



Gambar 2.15 Pelat lantai



Gambar 2.16 Contoh pelat (E) di jepit pada keempat sisinya

$$\text{Bentang pendek } l_x : M_{tx} = -k_x \cdot \frac{q \cdot l_x^2}{12}$$

$$M_{lx} = c' \cdot -k_x \cdot \frac{q \cdot l_x^2}{12}$$

$$\text{Bentang panjang } l_y : M_{ty} = -k_y \cdot \frac{q \cdot l_y^2}{12}$$

$$M_{ly} = c' \cdot -k_y \cdot \frac{q \cdot l_y^2}{24}$$

$$c' = 1 - \frac{5}{18} \cdot \frac{k^2}{1+k^4}$$

$$k = \frac{l_y}{l_x}$$

Untuk tumpuan-tumpuan lain dilihat di tabel Marcus

Tabel 2.6 Momen-momen pada pelat – Tabel Marcus

No	Kondisi Perletakan k	$k_x = q_x/q$	$k_y = q_y/q$	Momen lapangan Ml		Faktor koreksi untuk M. Lapangan		Momen tumpuan Mt	
				Mlx	Mly	C'x	C'y	Mtx	Mty
1		$\frac{k^4}{1+k^4}$	$\frac{1}{1+k^4}$	$\frac{1}{8} q_x \cdot l_x^2$	$\frac{1}{8} q_y \cdot l_y^2$	$1 - \frac{5}{6} \frac{k^2}{1+k^4}$	$1 - \frac{5}{6} \frac{k^2}{1+k^4}$	-	-
2		$\frac{5k^4}{2+5k^4}$	$\frac{2}{2+5k^4}$	$\frac{9}{128} q_x \cdot l_x^2$	$\frac{1}{8} q_y \cdot l_y^2$	$1 - \frac{75}{32} \frac{k^2}{2+5k^4}$	$1 - \frac{5}{3} \frac{k^2}{2+5k^4}$	$\frac{1}{8} q_x \cdot l_x^2$	-
3		$\frac{5k^4}{1+5k^4}$	$\frac{1}{1+5k^4}$	$\frac{1}{24} q_x \cdot l_x^2$	$\frac{1}{8} q_y \cdot l_y^2$	$1 - \frac{25}{18} \frac{k^2}{1+k^4}$	$1 - \frac{5}{6} \frac{k^2}{1+5k^4}$	$\frac{1}{12} q_x \cdot l_x^2$	-
4		$\frac{k^4}{1+k^4}$	$\frac{1}{1+k^4}$	$\frac{9}{128} q_x \cdot l_x^2$	$\frac{9}{128} q_y \cdot l_y^2$	$1 - \frac{15}{32} \frac{k^2}{1+k^4}$	$1 - \frac{15}{32} \frac{k^2}{1+k^4}$	$\frac{1}{8} q_x \cdot l_x^2$	$\frac{1}{8} q_y \cdot l_y^2$
5		$\frac{2k^4}{1+2k^4}$	$\frac{1}{1+2k^4}$	$\frac{1}{24} q_x \cdot l_x^2$	$\frac{9}{128} q_y \cdot l_y^2$	$1 - \frac{5}{9} \frac{k^2}{1+2k^4}$	$1 - \frac{15}{32} \frac{k^2}{1+2k^4}$	$\frac{1}{12} q_x \cdot l_x^2$	$\frac{1}{8} q_y \cdot l_y^2$
6		$\frac{k^4}{1+k^4}$	$\frac{1}{1+k^4}$	$\frac{1}{24} q_x \cdot l_x^2$	$\frac{1}{24} q_y \cdot l_y^2$	$1 - \frac{5}{18} \frac{k^2}{1+k^4}$	$1 - \frac{5}{18} \frac{k^2}{1+k^4}$	$\frac{1}{12} q_x \cdot l_x^2$	$\frac{1}{12} q_y \cdot l_y^2$

Catatan: K
 e
 Perletakan sendi
 Perletakan jepit

keterangan :

K : koefisienien momen yang tergantung dari L_y/L_x dan kondisi

tumpuan (Tabel MARKUS)

q : Beban merata di atas pelat (kg/m^2)

l_x : Panjang Bentang Terpendek (m)

l_y : Panjang Bentang Terpanjang (m)

m_{tx} : Momen tumpuan arah x persatuan lebar pelat (kg.m)

m_{ty} : Momen tumpuan arah y persatuan lebar pelat (kg.m)

m_{lx} : Momen lapangan arah x persatuan lebar pelat (kg.m)

m_{ly} : Momen lapangan arah y persatuan lebar pelat (kg.m)

2.7.2 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 ataupun 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 $\varepsilon_y = f_y / E_c$.

-*Penampang over-reinforced*. Keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Pada awal keruntuhan, regangan baja ε_s yang terjadi

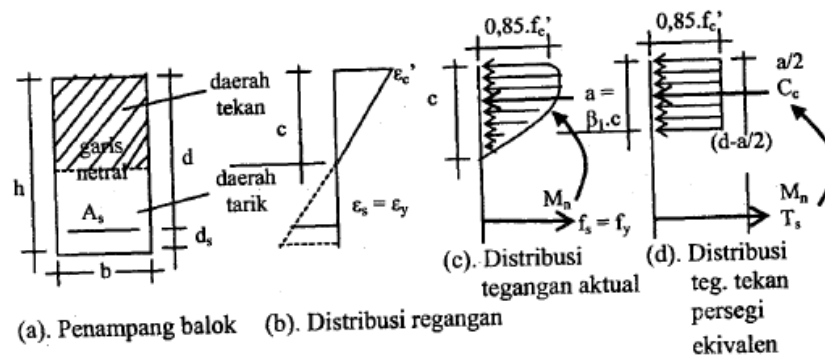
masih lebih kecil daripada regangan lelehnya ε_y . Kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak daripada yang diperlukan dalam keadaan *balanced*.

-*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. Penampang balok ditentukan sesuai persyaratan SNI-2847-2013.

2.7.2.1 Balok Persegi Panjang dengan Tulangan Tunggal

Balok dengan tulangan tunggal sering juga disebut dengan balok bertulangan sebelah atau balok dengan tulangan saja. Untuk keperluan hitungan balok persegi panjang dengan tulangan tunggal, berikut ini dilukiskan bentuk penampang balok yang dilengkapi dengan distribusi regangan dan tegangan beton serta notasinya, seperti pada Gambar berikut:



Gambar 2.17 Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok Tunggal (Sumber: G.Nawy,P.E.)

Keterangan notasi pada **Gambar 2.17** :

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

$$a = \beta_1 \cdot c \dots \dots \dots (2.5.22)$$

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.

$$f_s = \varepsilon_s \cdot E_s \dots \dots \dots (2.5.23)$$

- 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) sebagai berikut (Pasal 10.2.5.3 SNI 2847 – 2013).

Untuk $17 \text{ MPa} \leq f'_c \leq 28 \text{ MPa}$, maka $\beta_1 = 0,85$

Untuk $f'_c > 28 \text{ MPa}$, maka $\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 \cdot (f'_c - 28)}{7}$

tetapi $\beta_1 = 0,65$

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.

$$\epsilon'_s = \frac{a - \beta_1 \cdot d'_s}{c} \cdot 0,003 \dots\dots\dots (2.5.24)$$

ϵ_y : regangan tarik baja tulangan pada saat leleh,

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{f_y}{200000} \dots\dots\dots (2.5.25)$$

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).

Pada perencanaan beton bertulang, diusahakan kekuatan beton dan baja agar dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya. Untuk beton, karena sangat kuat menahan beban tekan, maka dimanfaatkan kuat tekan beton jangan sampai melebihi batas runtuh pada regangan tekan beton maksimal(ϵ_{cu}') = 0,003. Sedangkan untuk baja tulangan tarik yang tertanam di dalam beton, dapat dimanfaatkan kekuatan sepenuhnya sampai mencapai batas leleh, yaitu tegangan tarik baja f_s sama dengan tegangan leleh f_y .

a.) Gaya tekan beton

Gaya tekan beton dapat diperhitungkan dari hubungan tegangan – regangan beton, dengan blok tegangan tekan persegi ekuivalen dapat dihitung besar gaya tekan beton C_c sebagai berikut :

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \quad \dots\dots\dots (2.5.26)$$

b.) Gaya tarik baja tulangan

Gaya tarik baja tulangan (T_s) dapat dihitung dengan cara membuat perkalian antara luas baja tulangan dan tegangan lelehnya, yaitu sebagai berikut :

$$T_s = A_s \cdot f_y \quad \dots\dots\dots (2.5.27)$$

c.) Luas tulangan longitudinal balok

Karena balok dalam keadaan seimbang, maka gaya tekan beton akan sama dengan gaya tarik baja tulangan, diperoleh luas tulangan balok (A_s) sebagai berikut :

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y} \dots\dots\dots (2.5.28)$$

Momen nominal dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$M_n = C_c \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad \text{atau} \quad M_n = T_s \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots (2.5.29)$$

Faktor momen pikul (K) didefinisikan diperoleh hitungan / persamaan berikut :

$$K = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \quad \text{atau} \quad K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \dots\dots\dots (2.5.30)$$

Tinggi blok tegangan tegangan beton tekanan persegi ekuivalen pada kuat nominal balok dapat dihitung dengan rumus :

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f'_c}} \right) \cdot d \dots\dots\dots (2.5.31)$$

Untuk regangan tekan beton ϵ_c' dibatasi sampai batas retak ϵ_{cu}' sebesar 0,003 .Nilai regangan ϵ_c' (bukan ϵ_{cu}') ini dapat ditentukan berdasarkan diagram distribusi regangan didapat rumus :

$$\epsilon_c' = \frac{a}{\beta_1 \cdot d - a} \cdot \epsilon_y \dots\dots\dots (2.5.32)$$

Pada perencanaan / hitungan beton bertulang harus dipenuhi 2 syarat yaitu:

a.) Momen rencana M_r harus $\geq$ momen perlu M_u .

b.) Regangan tekan beton ϵ_c' harus $\leq \epsilon_{cu}'$ (0,003).

Untuk menghitung momen – momen rencana M_r dilaksanakan sebagai berikut :

a.) Diperoleh tinggi blok tegangan tekan beton persegi ekuivalen sebagai berikut :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \dots\dots\dots (2.5.33)$$

b.) Moment rencana dihitung dengan persamaan :

$$M_r = \phi \cdot M_n, \text{ dengan } \phi = 0,8 \dots\dots\dots (2.5.34)$$

A. Keruntuhan lentur dan sistem perencanaan

1. Jenis keruntuhan lentur

Jenis keruntuhan yang dapat terjadi pada balok lentur bergantung pada sifat – sifat penampang balok dan dibedakan menjadi 3 jenis berikut :

- a. Keruntuhan tekan (*brittle failure*)
- b. Keruntuhan Seimbang (*balance*)
- c. Keruntuhan tarik (*ductile failure*)

Distribusi regangan pada penampang beton untuk ketiga jenis keruntuhan lentur tersebut dilukiskan seperti gambar berikut :

2. Keruntuhan tekan (*brittle failure*)

Pada keadaan penampang beton dengan keruntuhan tekan, beton hancur sebelum baja tulangan leleh. Hal ini berarti regangan tekan beton sudah melampaui regangan batas 0,003 tetapi regangan tarik baja

tulangan belum mencapai leleh atau $\epsilon_c' = \epsilon_{cu}'$ tetapi $\epsilon_s < \epsilon_y$ seperti pada

gambar 2.6. (b). Balok yang mengalami keruntuhan seperti ini terjadi pada penampang dengan rasio tulangan (ρ) yang besar dan disebut *over – reinforced*.

Karena beton memiliki sifat yang kuat menahan beban tekan tetapi getas, maka keruntuhan beton seperti ini disebut keruntuhan tekan atau keruntuhan getas (*brittle failure*) pada balok yang mengalami keruntuhan getas, pada saat beton mulai hancur baja tulangannya masih kuat (belum leleh), sehingga lendutan pada balok relative tetap (tidak bertambah). Tetapi, jika di atas balok ditambah beban besar, maka baja tulangan akan meleleh dan dapat terjadi keruntuhan secara mendadak, tanpa ada tanda – tanda/peringatan tentang lendutan yang membesar pada balok. Keadaan demikian ini sangat membahayakan bagi kepentingan kelangsungan hidup manusia, sehingga sistem perencanaan beton bertulang yang dapat mengakibatkan *over – reinforced* tidak diperbolehkan.

3. Keruntuhan seimbang (*balance*)

Pada penampang beton dengan keruntuhan seimbang, keadaan beton hancur dan baja tulangan leleh terjadi bersamaan. Hal ini berarti regangan tekan beton mencapai regangan batas 0,003 dan regangan tarik baja tulangan mencapai leleh pada saat yang sama, atau $\epsilon_c' = \epsilon_{cu}'$ dan $\epsilon_s = \epsilon_y$ terjadi pada waktu yang sama, seperti pada Gambar 2.8. (c). Balok yang mengalami keruntuhan seperti ini terjadi pada penampang

beton dengan rasio tulangan seimbang (*balance*). Rasio tulangan *balance* diberi notasi ρ_b .

Karena beton dan baja tulangan mengalami kerusakan pada saat yang sama, maka kekuatan beton dan baja tulangan dapat dimanfaatkan sepenuhnya, sehingga penggunaan material beton dan baja tersebut menjadi hemat. Sistem perencanaan beton bertulang yang demikian ini merupakan system perencanaan yang ideal, tetapi sulit dicapai karena dipengaruhi oleh beberapa faktor, misalnya : ketidaktepatan mutu baja dengan mutu baja rencana, ketidaktepatan mutu beton dalam pelaksanaan pembuatan adukan dengan mutu beton rencana, maupun kekurangan dan ketelitian pada perencanaan hitungan akibat adanya pembulatan – pembulatan.

4. Keruntuhan tarik (*ductile failure*)

Pada keadaan penampang beton dengankeruntuhan tarik, baja tulangan sudah leleh sebelum beton hancur. Hal ini berarti regangan tarik baja tulangan sudah mencapai titik leleh tetapi regangan tekan beton belum mencapai regangan batas 0,003 atau $\epsilon_s = \epsilon_y$ tetapi $\epsilon_c' < \epsilon_{cu}'$, seperti terlihat pada Gambar 2.8. (d). Balok yang mengalami keruntuhan seperti ini terjadi pada penampang dengan rasio tulangan (ρ) yang kecil dan disebut dengan *under – reinforced*.

Karena kerusakan terjadi pada baja tulangan yang menahan beban tarik lebih dulu dan baja tulangan bersifat liat, maka keruntuhan beton seperti ini disebut keruntuhan tarik atau keruntuhan liat (*ductile failure*).

Pada balok yang mengalami keruntuhan liat, pada saat baja tulangan mulai leleh betonnya masih kuat (belum hancur), sehingga dapat terjadi lendutan pada balok. Jika diatas balok ditambah lagi beban yang besar, maka lendutan balok semakin besar dan akhirnya dapat terjadi keruntuhan. Keadaan demikian ini “ menguntungkan” bagi kepentingan kelangsungan hidup manusia, karena ada “ peringatan” tentang lendutan membesar sebelum runtuh, sehingga system perencanaan beton bertulang yang *under – reinforced* ini lebih aman dan diperbolehkan.

5. Sistem perencanaan yang digunakan

Menurut peraturan beton Indonesia (**SNI 2847 - 2013**), sistem perencanaan beton bertulang dibatasi dengan 2 kondisi berikut :

- a. Agar tulangan yang digunakan tidak terlalu sedikit atau rasio tulangan ρ tidak terlalu kecil, diberikan syarat berikut (Pasal 10.5 SNI 2847 – 2013) :

$$A_s \text{ harus } \geq A_{s \text{ min}} \text{ atau } \rho \geq \rho_{\text{min}} \text{ dengan } \rho = \frac{A_s}{(b.d)} \dots (2.5.35)$$

dengan :

$$A_{s, \text{min}} = \frac{\sqrt{f'c}}{4.fy} . b.d \text{ atau}$$

$$A_{s, \text{min}} = \frac{1,4}{fy} . b.d \quad (\text{dipilih yang besar}) \dots (2.5.36)$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{\sqrt{f'c}}{4.fy} \text{ atau } \rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{fy}$$

$$(\text{dipilih yang besar}) \dots (2.5.37)$$

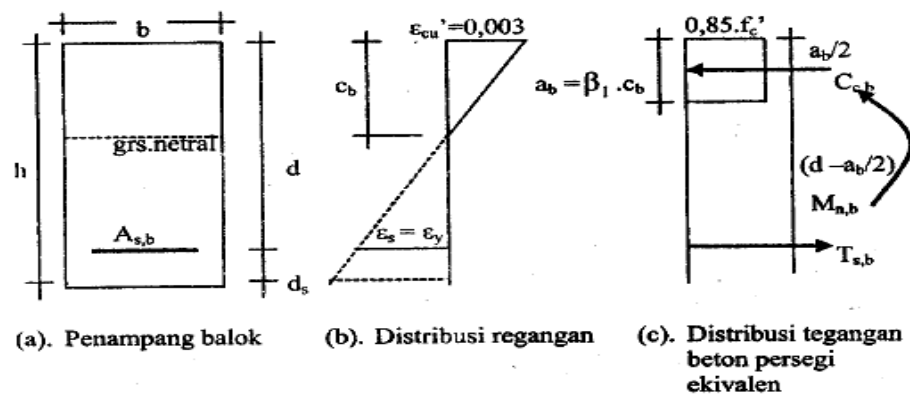
- b. Agar penampang beton dapat mendekati keruntuhan seimbang, diberikan syarat berikut (Pasal 10.3.6.3 SNI 2847 – 2013):

$$A_s \text{ harus } \leq A_{s \text{ min}} \text{ atau } \rho \leq \rho_{\text{min}} \text{ dengan } \rho = \frac{A_s}{(b.d)}$$

$$\text{dengan : } A_{s \text{ maks}} = 0,75. A_{s,b} \text{ dan } \rho_{\text{maks}} = 0,75. \rho_b \dots \dots (2.5.38)$$

B. Tinjauan penampang beton pada keruntuhan seimbang

Pada tinjauan ini dilukiskan bentuk penampang balok dan diagram distribusi regangan maupun tegangan untuk kondisi keruntuhan seimbang (*balance*), seperti pada Gambar berikut :



Gambar 2.18 Penampang Beton pada Kondisi Keruntuhan *Balance* (Sumber:

G.Nawy,P.E.)

Keadaan seimbang akan terjadi jika nilai :

$$\varepsilon'_c = \varepsilon'_{cu} = 0,003 \text{ dan } \varepsilon_s = \varepsilon_y \text{ atau } \varepsilon_s = \frac{f_y}{E_s} = \frac{f_y}{200000}$$

Nilai c_b dapat dihitung dengan rumus :

$$c_b = \frac{600.d}{600 + f_y} \dots \dots \dots (2.5.39)$$

Nilai $a_b = \beta_1 \cdot c_b$, maka diperoleh juga rumus :

$$a_b = \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot d}{600 + f_y} \dots\dots\dots (2.5.40)$$

Dalam keadaan seimbang nilai Tulangan dihitung dengan rumus :

$$A_{s,b} = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a_b \cdot b}{f_y} \dots\dots\dots (2.5.41)$$

Rasio tulangan balance :

$$\rho_b = \frac{510 \cdot \beta_1 \cdot f'_c}{(600 + f_y) \cdot f_y} \dots\dots\dots (2.5.42)$$

Rasio tulangan maksimal dan minimal :

Penggunaan tulangan atau rasio tulangan pada system perencanaan beton bertulang menurut **SNI 2847 – 2013** dibatasi oleh :

$$A_{s,min} \leq A_s \leq A_{s,maks}, \text{ atau}$$

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{maks}$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f'_c}{(600 + f_y) \cdot f_y} \dots\dots\dots (2.5.43)$$

Untuk rasio tulangan minimal, diberi batasan sebagai berikut :

- Untuk mutu beton $f'_c \leq 31,36 \text{ MPa}$, maka :

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots (2.5.44)$$

- Untuk mutu beton $f'_c \geq 31,36 \text{ MPa}$, maka :

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \cdot f_y} \dots\dots\dots (2.5.45)$$

Untuk rasio tulangan perlu :

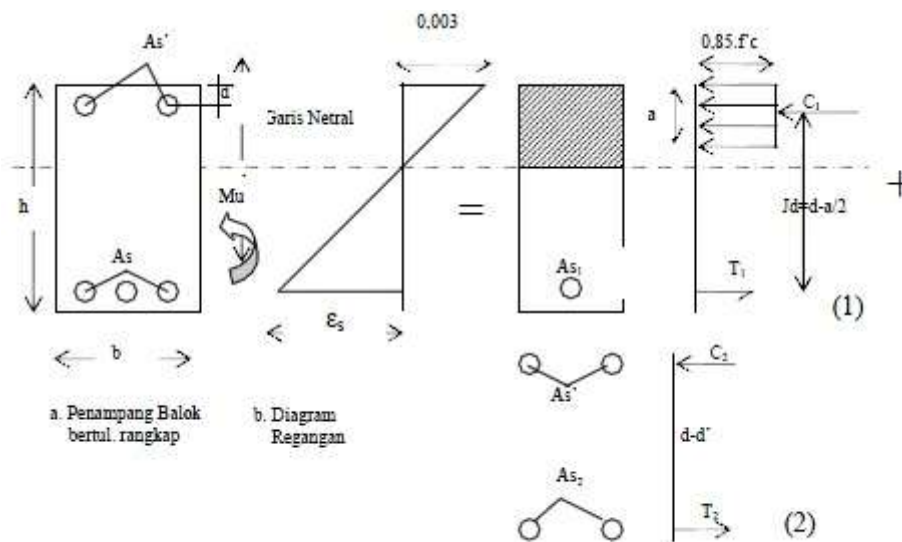
$$\rho = \frac{A_s}{b.d} \dots\dots\dots (2.5.46)$$

Moment pikul maksimal (K_{maks}), dapat dicari dengan rumus :

$$K_{maks} = \frac{382,5.\beta_1.f'c.(600 + fy - 225.\beta_1)}{(600 + fy)^2} \dots\dots\dots (2.5.47)$$

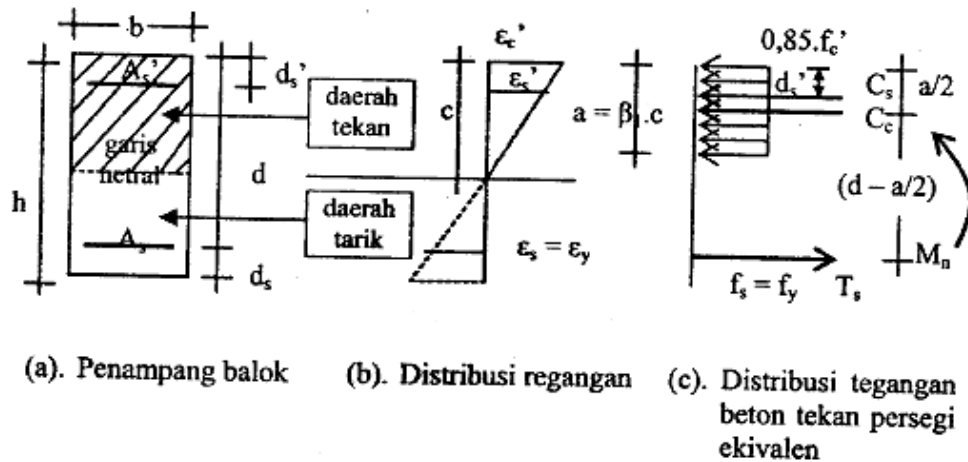
2.7.2.2 Balok Persegi Panjang dengan Tulangan Rangkap

Yang dimaksud dengan balok beton bertulangan rangkap ialah balok beton yang diberi tulangan pada penampang beton daerah tarik dan daerah tekan. Dengan dipasang tulangan pada daerah tarik dan tekan, maka balok akan lebih kuat dalam hal menerima beban yang berupa moment lentur.



Gambar 2.19 Tulangan Rangkap (Sumber: G.Nawy,P.E.)

Distribusi Regangan dan tegangan pada balok dengan penampang beton bertulangan rangkap :



Gambar 2.20 Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok

Tulangan Rangkap (Sumber: G.Nawy,P.E.)

Keterangan notasi pada **Gambar 2.20** :

- A : tinggi balok tegangan beton tekan persegi ekivalen = $\beta_1 \cdot c$, mm.
 $a = \beta_1 \cdot c$ (2.5.48)
- 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 anatara titik berat tulangan tarik dan tepi serat beton tarik, mm.

d_s' : jarak anatara 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.

$$f_s = \varepsilon_s \cdot E_s \dots\dots\dots (2.5.49)$$

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) sebagai berikut (Pasal 10.2.5.3 SNI 03 – 2847 – 2002).

Untuk $17 \text{ MPa} \leq f'_c \leq 28 \text{ MPa}$, maka $\beta_1 = 0,85 \dots\dots\dots (2.5.50)$

Untuk $f'_c > 28 \text{ Mpa}$, maka $\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 \cdot (f'_c - 28)}{7} \dots\dots\dots (2.5.51)$

tetapi $\beta_1 = 0,65 \dots\dots\dots (2.5.52)$

ε_c' : regangan tekan beton,
dengan ε_c' maksimal (ε_{cu}') = 0,003 $\dots\dots\dots (2.5.53)$

ε_s : regangan tarik baja tulangan.

ε_s' : regangan tekan baja tulangan.

$$\varepsilon_s' = \frac{a - \beta_1 \cdot d_s'}{c} \cdot 0,003 \quad \dots\dots\dots (2.5.54)$$

ε_y : regangan tarik baja tulangan pada saat leleh,

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{f_y}{200000} \quad \dots\dots\dots (2.5.55)$$

Tegangan tekan baja tulangan f_s' dihitung dengan rumus :

$$f_s' = \frac{a - \beta_1 \cdot d_s'}{a} \cdot 600 \quad \dots\dots\dots (2.5.56)$$

dengan ketentuan $f_s' \geq 0$

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

Tinggi blok tegangan beton tekan persegi ekivalen (a) pada balok bertulangan rangkap dihitung dengan rumus :

$$a = \frac{(A_s - A_s') \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad \dots\dots\dots (2.5.57)$$

Nilai momen nominal :

$$M_n = M_{nc} + M_{ns} \quad \dots\dots\dots (2.5.58)$$

$$M_{nc} = C_c \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right), \text{ dengan } C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \quad \dots\dots\dots (2.5.59)$$

$$M_{ns} = C_s \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right), \text{ dengan } C_s = A_s' \cdot f_s' \quad \dots\dots\dots (2.5.60)$$

$$M_r = \phi \cdot M_n, \text{ dengan } \phi = 0,8 \quad \dots\dots\dots (2.5.61)$$

dengan :

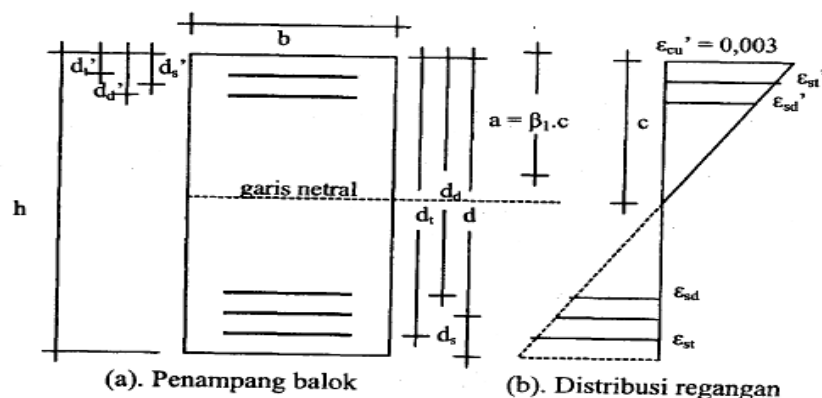
M_n = momen nominal aktual penampang balok, kNm.

M_{nc} = momen nominal yang dihasilkan oleh gaya tekan beton, kNm.

M_{ns} = momen nominal yang dihasilkan oleh gaya tekan tulangan, kNm.

M_r = momen rencana pada penampang balok, kNm.

Pada perencanaan beton bertulang, baja tulangan tarik dimanfaatkan kekuatannya sampai batas leleh, atau tegangan tulangan tarik (f_s) besarnya sama dengan tegangan leleh baja tulangan (f_y). Pada kenyataannya, tulangan tarik maupun tekan dapat dipasang lebih dari 1 baris, seperti pada Gambar berikut :



Gambar 2.21 Distribusi Regangan pada Penampang Balok dengan Tulangan

Tarik dan Tulangan Tekan Lebih dari 1 Baris (Sumber: G.Nawy,P.E.)

A. Untuk batas tulangan tarik leleh, dengan rumus – rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

Jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan :

$$c = \frac{0,003 \cdot d_d}{\frac{f_y}{200000} + 0,003} = \frac{600 \cdot d_d}{600 + f_y} \dots\dots\dots (2.5.62)$$

Tinggi blok tegangan beton tekan persegi ekuivalen :

$$a_{maks,leleh} = \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot d_d}{600 + f_y} \dots\dots\dots (2.5.63)$$

Untuk tulangan tarik yang tidak lebih dari 2 baris, praktis diambil :

$$d_d = d \dots\dots\dots (2.5.64)$$

B. Untuk batas tulangan tekan leleh, dengan rumus – rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

Jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan :

$$c = \frac{0,003 \cdot d_d}{\frac{f_y}{200000} - 0,003} = \frac{600 \cdot d_d}{600 - f_y} \dots\dots\dots (2.5.65)$$

Tinggi blok tegangan beton tekan persegi ekuivalen :

$$a_{min,leleh} = \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot d_d}{600 - f_y} \dots\dots\dots (2.5.66)$$

Untuk tulangan tarik yang tidak lebih dari 2 baris, praktis diambil :

$$d_d = d_s' \dots\dots\dots (2.5.67)$$

C. Manfaat nilai a maks leleh dan a min leleh pada hitungan beton bertulang

Nilai a maks leleh dan a min leleh ini berguna untuk mengetahui kondisi tulangan tarik dan tulangan tekan pada suatu penampang balok beton, apakah semua tulangan tarik dan semua tulangan tekan sudah leleh atau belum.

Pada prinsip perencanaan balok beton bertulang, semua tulangan tarik diperhitungkan sudah leleh. Kondisi tulangan tarik sudah leleh atau belumnya dihitung dengan nilai a (tinggi blok tegangan tekan beton

persegi ekuivalen), kemudian dibandingkan dengan a_{maks} dan a_{min} sehingga didapat kemungkinan – kemungkinan berikut :

Untuk a_{maks} :

- 1) Jika nilai $a \leq a_{maks}$ leleh , berarti semua tulangan tarik sudah leleh.
- 2) Jika nilai $a > a_{maks}$ leleh , berarti tulangan tarik pada baris paling dalam belum leleh, maka sebaiknya dimensi balok diperbesar.

Untuk a_{min} :

- 1) Jika nilai $a \geq a_{min}$ leleh , berarti semua tulangan tekan sudah leleh.
- 2) Jika nilai $a < a_{min}$ leleh , berarti tulangan tekan pada baris paling dalam belum leleh, sehingga nilai tegangan tekan tulangan masih lebih kecil daripada tegangan lelehnya ($f_s' < f_y$).

Untuk keadaan penampang balok beton bertulang tulangan tekan belum

leleh, berarti regangan $\epsilon_s < \epsilon_y$.

Nilai a (tinggi blok tegangan tekan beton persegi ekuivalen) :

$$a = \left(\sqrt{p^2 + q} \right) - p \dots\dots\dots (2.5.68)$$

dengan :

$$p = \frac{600.A_s' - A_s \cdot f_y}{1,7.f'c.b} \dots\dots\dots (2.5.69)$$

$$q = \frac{600.\beta_1.ds'.A_s'}{0,85.f'c.b} \dots\dots\dots (2.5.70)$$

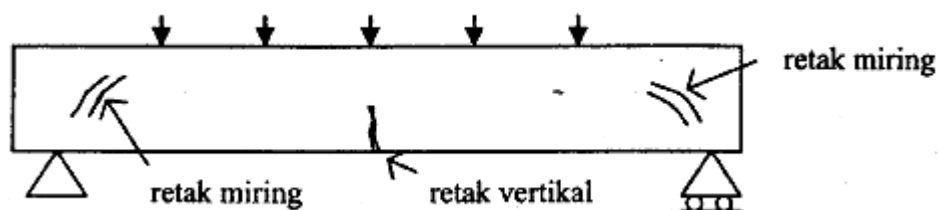
2.7.2.3 Kuat Geser Balok

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.

Retakan pada Balok :

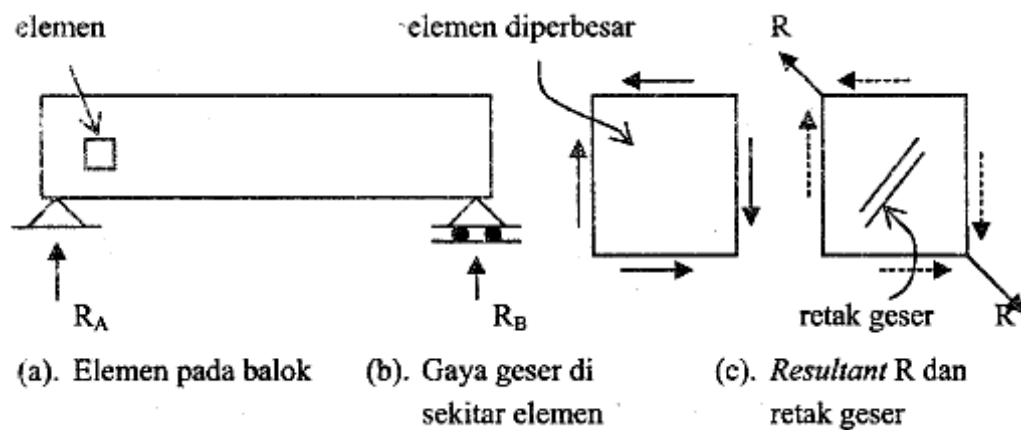
Jika ada sebuah balok yang ditumpu secara sederhana (yaitu dengan tumpuan sendi pada ujung yang satu dan tumpuan rol pada ujung lainnya), kemudian di atas balok diberi beban cukup berat, balok tersebut dapat terjadi 2 jenis retakan, yaitu retak yang arahnya vertikal dan retak yang arahnya miring.



Gambar 2.22 Jenis Retakan pada Balok (Sumber: G.Nawy,P.E.)

Retak vertikal terjadi akibat kegagalan balok dalam menahan beban lentur, sehingga biasanya terjadi pada daerah lapangan balok, karena pada daerah ini timbul momen lentur paling besar. Retak miring terjadi akibat kegagalan balok

dalam menahan beban geser, sehingga biasanya terjadi pada daerah ujung (dekat tumpuan) balok, karena pada daerah ini timbul gaya geser / gaya lintang paling besar.



Gambar 2.23 Jenis Retakan pada Balok Akibat Gaya Geser (Sumber:

G.Nawy,P.E.)

Pada gambar terjadi keadaan berikut :

- 1) Gaya geser ke atas pada permukaan bidang kiri dan gaya geser ke kiri pada permukaan bidang atas, membentuk *resultant* R yang arahnya miring ke kiri-atas.
- 2) Gaya geser ke bawah pada permukaan bidang bawah, juga juga membentuk *resultant* R yang arahnya miring ke kanan - bawah.
- 3) Kedua *resultant* yang terjadi dari item 1 dan item 2 tersebut sama besarnya, tetapi berlawanan arah dan saling tarik - menarik.
- 4) Jika elemen balok tidak mampu menahan gaya tarik dari kedua *resultant* R , maka elemen beton akan retak dengan arah miring, membentuk sudut $\alpha = 45^\circ$.

Penulangan geser pada dasarnya mempunyai empat fungsi utama, yaitu:

Perencanaan Gedung Convention Hall Hotel Aston City Kabupaten Pangandaran

- a. Memikul sebagian gaya geser luar rencana V_u
- b. Membatasi bertambahnya retak diagonal
- c. Memegang dan mengikat tulangan memanjang pada posisinya sehingga tulangan memanjang ini mempunyai kapasitas yang baik untuk memikul lentur
- d. Memberikan semacam ikatan pada daerah beton yang tertekan apabila sengkang ini berupa sengkang tertutup.

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 :

$$V_r = \phi V_n \text{ dan } \phi V_n \geq V_u \dots\dots\dots (2.5.71)$$

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots (2.5.72)$$

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 :

$$V_{ud} = V_{ut} + \frac{x}{y} \cdot (V_u - V_{ut}) \quad \dots\dots\dots (2.5.73)$$

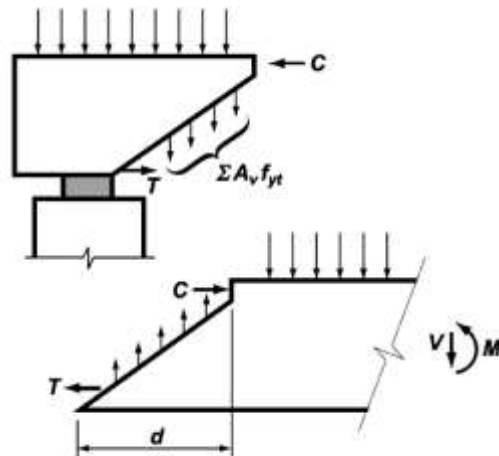


Fig. R11.1.3.1(a)—Free body diagrams of the end of a beam

Gambar 2.24 Diagram badan bebas ujung balok (Sumber: G.Nawy,P.E.)

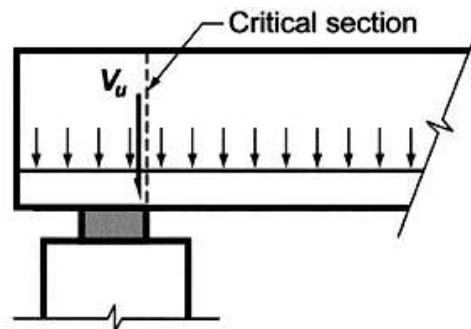


Fig. R11.1.3.1(b)—Location of critical section for shear in a member loaded near bottom.

Gambar 2.25 Lokasi penampang kritis untuk geser pada komponen struktur terbebani di dekat bagian bawah (Sumber: G.Nawy,P.E.)

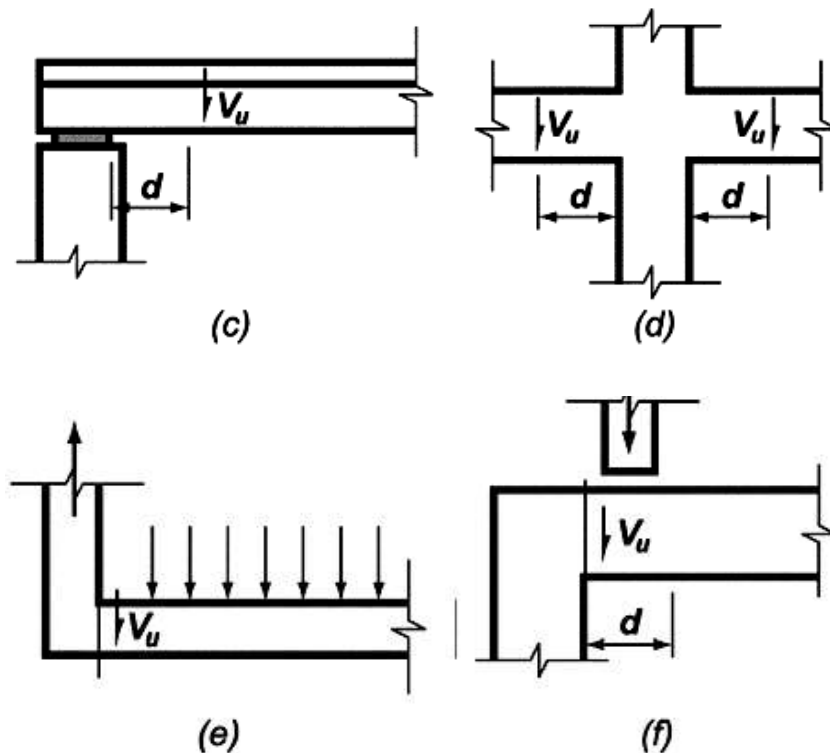


Fig. R11.1.3.1(c), (d), (e), (f)—Typical support conditions for locating factored shear force V_u .

Gambar 2.26 Kondisi tumpuan tipikal untuk menentukan lokasi gaya geser terfaktor V_u (Sumber: G.Nawy,P.E.)

- 3) Pasal 11.2.1 SNI 2847 – 2013, gaya geser yang ditahan oleh beton (V_c) dihitung dengan rumus :

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \quad \dots \dots \dots (2.5.74)$$

- 4) Pasal 11.4.7.1 SNI 2847 – 2013, gaya geser yang ditahan oleh begel (V_s) dihitung dengan rumus :

$$V_s = \frac{(V_u - \phi \cdot V_c)}{\phi} \quad \dots \dots \dots (2.5.75)$$

- 5) Pasal 11.4.7.9 SNI 2847 – 2013

$$V_s \text{ harus } \leq \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (2.5.76)$$

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

- 6) **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

$$A_{v,u} = \frac{V_s \cdot S}{f_y \cdot d} \dots\dots\dots (2.5.77)$$

dengan S (Panjang Balok) = 1000 mm

- b. Pasal 11.4.6.3

$$A_{v,u} = \frac{b \cdot S}{3 \cdot f_y} \dots\dots\dots (2.5.78)$$

dengan S (Panjang Balok) = 1000 mm

- c. Pasal 11.4.6.3

$$A_{v,u} = \frac{75 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot S}{1200 \cdot f_y} \dots\dots\dots (2.5.79)$$

dengan S (Panjang Balok) = 1000 mm

- 7) Spasi begel (s) dihitung dengan rumus berikut :

$$s = \frac{n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d_p^2 \cdot S}{A_{v,u}} \dots\dots\dots (2.5.80)$$

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

$$s \leq \frac{d}{2} \text{ dan } s \leq 600 \text{ mm} \dots\dots\dots (2.5.81)$$

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

$$s \leq \frac{d}{4} \text{ dan } s \leq 300 \text{ mm} \dots\dots\dots (2.5.82)$$

dengan :

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

dp : diameter begel dari tulangan polos, mm

Momen puuntir (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 :

$$T_u \leq \frac{\phi \cdot \sqrt{f'c}}{12} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \text{ dengan } \phi = 0,75 \dots\dots\dots (2.5.83)$$

Dengan : A_{cp} : Luas penampang brutto

P_{cp} : Keliling penampang brutto

2.7.3 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 fondasi. 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. Oleh karena itu, 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 lagi karena keruntuhan tekan tidak memberikan peringatan awal yang cukup jelas.

Banyaknya penulangan dalam hal balok telah dikontrol agar balok dapat berperilaku daktail. Dalam hal kolom, beban aksial biasanya dominan sehingga keruntuhan yang berupa keruntuhan tekan sulit dihindari.

Apabila beban pada kolom bertambah, maka retak akan banyak terjadi di seluruh tinggi kolom pada lokasi-lokasi tulangan sengkang. Dalam keadaan batas keruntuhan (*limit state of failure*), selimut beton diluar sengkang (pada kolom bersengkang) atau diluar spiral (pada kolom berspiral) akan lepas sehingga tulangan memanjangnya akan mulai kelihatan. Apabila bebannya terus bertambah, maka terjadi keruntuhan dan tekuk lokal (*local buckling*) tulangan memanjang pada panjang tak tertumpu sengkang atau spiral. Dapat dikatakan bahwa dalam keadaan batas keruntuhan, selimut beton lepas dahulu sebelum lekatan baja-beton hilang.

Kekuatan kolom di evaluasi berdasarkan prinsip-prinsip dasar sebagai berikut :

1. Distribusi regangannya linier di seluruh tebal kolom.
2. Tidak ada gelincir antara beton dengan tulangan baja (ini berarti regangan pada baja sama dengan regangan pada beton yang mengelilinginya).
3. Regangan beton maksimum yang diizinkan pada keadaan gagal (untuk perhitungan kekuatan) adalah 0,003.
4. Kekuatan tarik beton diabaikan dan tidak digunakan dalam perhitungan.

2.7.3.1 Jenis Kolom

Kolom dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk dan susunan tulangannya, posisi beban pada penampangnya, dan panjang kolom dalam hubungannya dengan dimensi lateralnya.

Bentuk kolom ada bermacam-macam seperti persegi, bujursangkar ataupun lingkaran. Ada beberapa jenis kolom, yaitu :

1. Kolom dengan sengkang ikat (*tied column*)

Bentuk kolom biasanya persegi atau bujursangkar dengan tulangan utama memanjang diikat oleh sengkang persegi.

2. Kolom dengan sengkang spiral (*spiral column*)

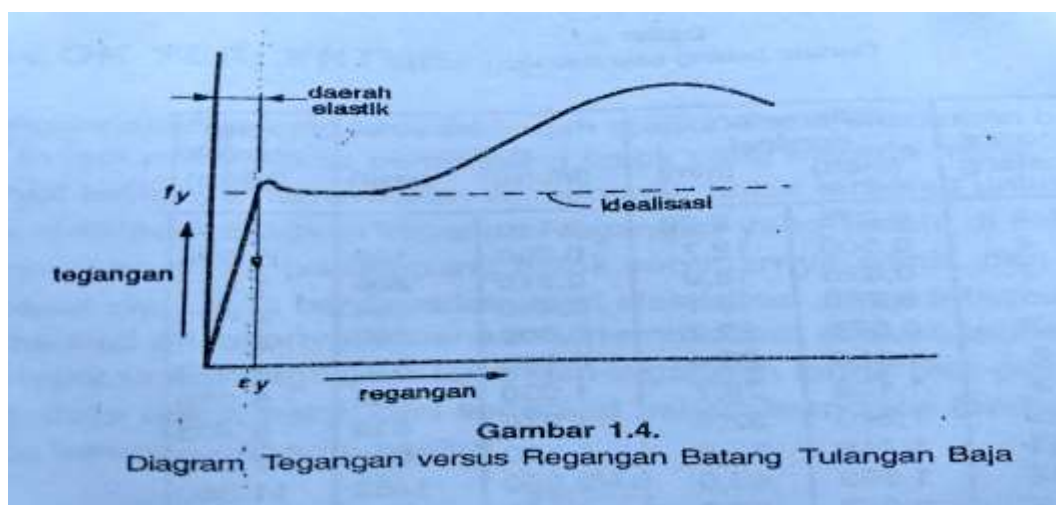
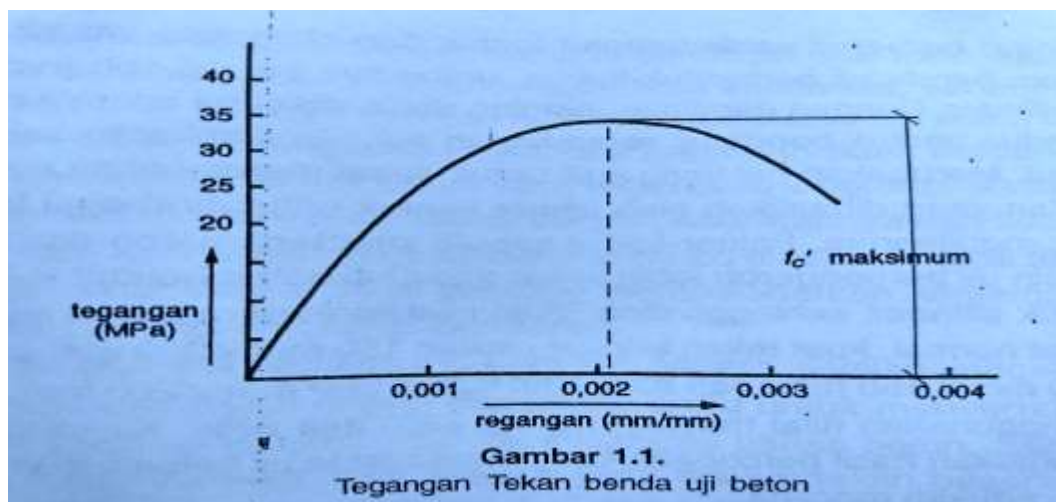
Bentuk kolom biasanya lingkaran atau segi-n atau dapat pula persegi. Tulangan memanjang diikat oleh sengkang berbentuk spiral.

3. Kolom komposit (*composite column*)

Kolom ini biasanya menggunakan baja profil dengan penambahan tulangan yang dibungkus oleh beton atau sebaliknya.

2.7.3.2 Kekuatan Kolom Pendek dengan Beban Sentris

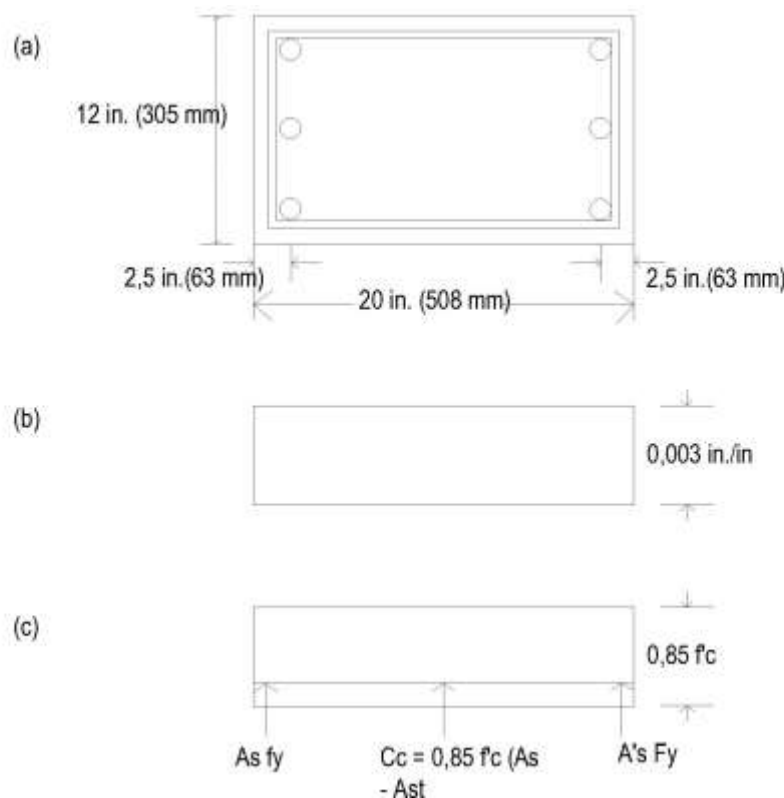
Pada **Gambar 2.28** menyajikan pembebanan pada beton dan baja pada saat beban kolom meningkat. Pada awalnya, beton maupun baja berperilaku elastis. Saat regangannya mencapai sekitar 0,003, beton mencapai kekuatan maksimum f'_c . Secara teoritis, beban maksimum yang dapat dipikul oleh kolom adalah beban yang menyebabkan terjadinya tegangan f'_c pada beton. Penambahan beban lebih lanjut bisa saja terjadi apabila *strain hardening* pada baja terjadi disekitar regangan 0,003.



Gambar 2.27 Hubungan tegangan regangan pada beton dan baja (beban sentris)
 Sumber: Buku Stuktur Beton Bertulang (Istimawan Dipohusodo)

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 di sini adalah $0,85 f'_c$, bukan f'_c . Hal ini disebabkan oleh kekuatan maksimum yang dapat dipertahankan pada struktur actual mendekati harga $0,85 f'_c$. Dengan demikian, kapasitas beban sentris maksimum adalah P_o yang dapat dinyatakan sebagai :

$$P_o = 0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y \dots \dots \dots (2.5.4)$$



Gambar 2.28 geometri, regangan dan tegangan kolom (beban sentris); penampang melintang; (b) regangan beton; (c) tegangan (dan gaya-gaya).
(Sumber: G.Nawy,P.E.)

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 faktor-faktor ini, kapasitas beban aksial nominal pada kolom tidak boleh diambil lebih besar daripada :

$$P_n(maks) = 0,8[0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y] \dots\dots\dots (2.5.5)$$

Untuk kolom bersengkang, dan

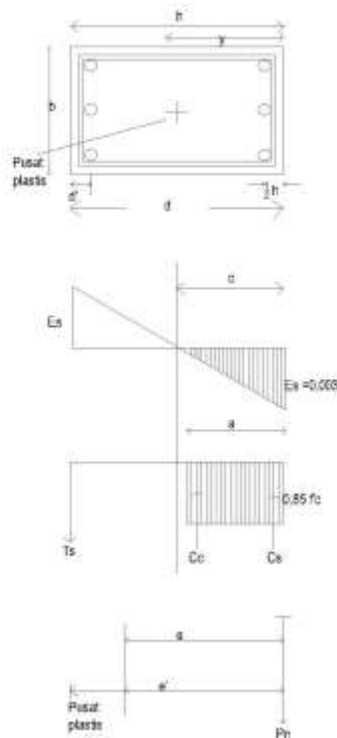
$$P_n(maks) = 0,85[0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y] \dots\dots\dots (2.5.6)$$

Untuk kolom berspiral.

$$\text{Beban rencana: } P_u \leq \phi P_n$$

2.7.3.3 Kekuatan Kolom dengan Beban Eksentris : Aksial dan Lentur

Prinsip-prinsip pada balok mengenai distribusi tegangan segiempat ekuivalennya dapat diterapkan juga pada kolom. Pada gambar 2.5 memperlihatkan penampang melintang suatu kolom segi empat tipikal dengan diagram distribusi regangan, tegangan dan gaya padanya.



Regangan:

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

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

Tegangan:

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

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

Gaya dalam:

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

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

$$T_s = A_s \cdot f_s$$

Gambar 2.29 Tegangan dan gaya-gaya pada kolom (*sumber: Nawy, hal.316*)

Eksentrisitas:

$$e = \frac{Mu}{Pu} \dots\dots\dots (2.5.7)$$

Gaya tahan aksial P_n dalam keadaan runtuh:

$$P_n = C_c + C_s - T_s \dots\dots\dots (2.5.8)$$

$$P_n = 0,85 f'_c \cdot b \cdot a + A'_s \cdot f'_s - A_s \cdot f_s \dots\dots\dots (2.5.9)$$

Momen tahanan nominal $M_n = P_n \cdot e$

$$M_n = P_n \cdot e = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(d - \frac{h}{2} \right) \dots\dots\dots (2.5.10)$$

Dimana: c = jarak sumbu netral

h = tinggi balok

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

2.7.3.4 Ragam Kegagalan 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.
3. 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:

$P_n < P_{nb}$ keruntuhan tarik

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

$P_n > P_{nb}$ keruntuhan tekan

Keruntuhan *balanced* pada kolom:

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d \quad \dots\dots\dots (2.5.11)$$

$$a_b = \beta_1 \cdot C_b = \frac{600}{600 + f_y} \beta_1 \cdot d \quad \dots\dots\dots (2.5.12)$$

$$P_{nb} = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a_b + A'_s \cdot f'_y - A_s \cdot f_y \quad \dots\dots\dots (2.5.13)$$

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

$$\text{Dimana } f'_s = 0,003 E_s \quad \frac{C_b - d'}{C_b} \leq f_y \quad \dots\dots\dots (2.5.14)$$

Keruntuhan Tarik pada Kolom Segiempat:

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

$$P_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \quad \dots\dots\dots (2.5.15)$$

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

atau

$$M_n = P_n \cdot e = 0,85 f'_c b \cdot a \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_s \cdot f_y \left(d - \frac{h}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (2.5.16)$$

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

$$P_n = 0,85 f'_c b \left[\left(\frac{h}{2} - e \right) + \sqrt{\left(\frac{h}{2} - e \right)^2 + \frac{2A_s f_y (d - d')}{0,85 f'_c b}} \right] \dots\dots\dots (2.5.17)$$

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

$$P_n = 0,85 f'_c b d \left[\frac{h - 2e}{2d} + \sqrt{\left(\frac{h - 2e}{2d} \right)^2 + 2m\rho \left(1 - \frac{d'}{d} \right)} \right] \dots\dots\dots (2.5.18)$$

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 padatulangan tariknya lebih kecil dari pada tegangan leleh, yaitu $f_s < f_y$.

2.7.3.5 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. 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.

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{H} \dots\dots\dots (2.5.19)$$

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:

$$\phi.V_n \geq V_n + V_c \dots\dots\dots (2.5.20)$$

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

$$V_c = \left(1 + \frac{Nu}{14.A_g}\right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6}\right) b_w.d \dots\dots\dots (2.5.21)$$

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.

2.7.4. 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 terpenuhi. 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.

Untuk perencanaan gedung ini dipergunakan pondasi bore pile, Pondasi bore pile adalah pondasi tiang dalam berbentuk tabung yang berfungsi meneruskan beban bangunan kedalam permukaan tanah. Fungsinya sama dengan pondasi dalam lainnya seperti pancang. Bedanya ada pada cara pengerjaannya. Pengerjaan bore pile dimulai dengan pelubangan tanah dahulu sampai kedalaman yang diinginkan, kemudian pemasangan tulangan besi yang dilanjutkan dengan pengecoran beton.

2.7.4.1 Persyaratan Pondasi Bore pile

- Daya dukung pondasi harus lebih besar dari pada beban yang dipikul oleh pondasi tersebut.
- Daya dukung tanah γ , c , w , ϕ , d .
- Penurunan yang terjadi harus sesuai batas yang diizinkan (toleransi) yaitu 1" (2,54cm)
- Perhitungan daya dukung ultimate tanah dasar digunakan persamaan Terzaghi :

$$\bar{\sigma}_u = \frac{1}{F_s} \left((1,3 \cdot c \cdot N_c) + (D_f \cdot \gamma_t \cdot N_q) + (0,3 \gamma_t \cdot B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma) \right) \quad \dots(2.5.84)$$

- c , γ , ϕ dari data tanah
- N_c , N_q , N_γ dari tabel
- Analisis daya lekatan atau adhesi :

P_1 = adhesi

$$P_1 = \frac{1}{F_s} \cdot K \cdot L \cdot c \quad \dots\dots\dots(2.5.85)$$

P_2 = gesekan

- Daya dukung gesek :

$$P_3 = \frac{1}{F_s} (K \cdot \frac{1}{2} \cdot L^2 \cdot \gamma_t) (1 + \tan^2 \phi \cdot \tan \phi) \quad \dots\dots\dots(2.5.86)$$

P_3 = Point bearing

$$P_3 = A \cdot \bar{\sigma}_u \quad \dots\dots\dots(2.5.87)$$

$$P_3 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \bar{\sigma}_u \quad \dots\dots\dots(2.5.88)$$

- Daya dukung netto :

$$P_{netto} = P_1 + P_2 + P_3 - \text{berat tiang} \quad \dots\dots\dots(2.5.89)$$

$$P_{netto} = P_1 + P_2 + P_3 - A.L.\gamma_b \quad \dots\dots\dots(2.5.90)$$

Jumlah tiang yang diperlukan :

$$n = \frac{V_u}{P_{netto}} \quad \dots\dots\dots(2.5.91)$$

- Kontrol daya dukung yang terjadi pada tiang :

$$P_n = \frac{\sum v}{n} \pm \frac{M_{y,x}}{\sum x^2} \pm \frac{M_{x,y}}{\sum y^2} \leq P_{netto} \quad \dots\dots\dots(2.5.92)$$

Tabel : Nilai-nilai faktor kapasitas daya dukung Terzaghi (1943)

ϕ	Keruntuhan geser umum			Keruntuhan geser lokal		
	Nc	Nq	Nr	Nc'	Nq'	Nr'
0	5,7	1,0	0,0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19,0	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7	9,0
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,6	87,1

Gambar 2.30 Terzaghi

1. Penulangan pondasi sumuran

$$M_1 = \frac{M_{dasar}}{n} \quad \dots\dots\dots(2.5.93)$$

- Gaya geser maksimum terjadi pada bagian atas pondasi akibat beban horizontal

$$H_u = \frac{H}{n} \quad \dots\dots\dots(2.5.94)$$

- Kapasitas momen pada dasar pondasi tiang

$$M_1 = K_C^R \cdot A_{st} \cdot f_y \cdot d \quad \dots\dots\dots(2.5.95)$$

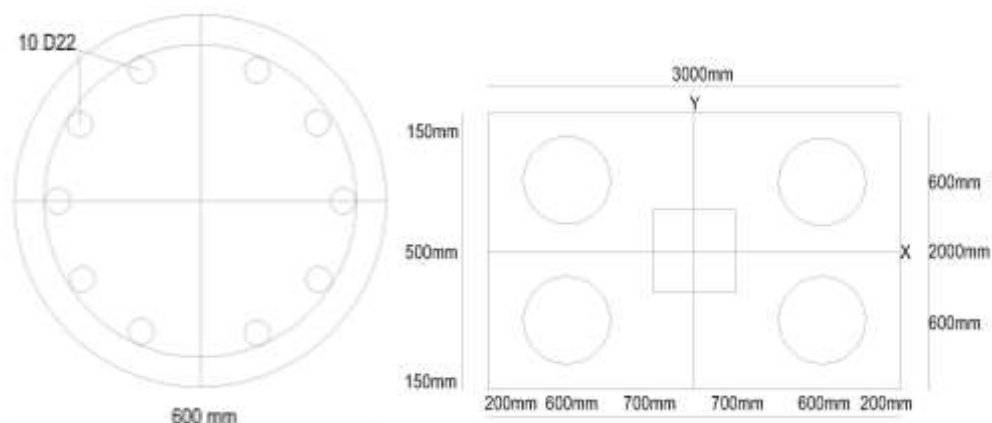
$$A_{st} = \frac{M_1}{K_C^R \cdot f_y \cdot d} \quad \dots\dots\dots(2.5.96)$$

- Jumlah tulangan

$$n = \frac{A_{st}}{A_s} \quad \dots\dots\dots(2.5.97)$$

Tabel 2.5. 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



Gambar 2.31 Bore Pile,Detail Penulangan Tiang Pondasi Dan Jumlah Tiang dan Tata Letak Pondasi Tiang

2.7.4.2 Perencanaan *Pile Cap*

Pada struktur dengan kolom yang memikul beban berat, atau jika struktur kolom tidak didukung oleh tanah yang kuat dan seragam, umumnya digunakan pondasi menerus untuk menyalurkan beban ke tanah. Pondasi menerus dapat terdiri dari *pile cap* menerus yang mendukung kolom-kolom yang berada dalam satu baris, tetapi jenis pondasi menerus yang paling sering digunakan ialah pondasi *pile cap* menerus yang menggabungkan dua baris *pile cap* yang berpotongan, sehingga mereka membentuk pondasi grid. Namun, kasus beban yang lebih besar lagi/tanah yang lebih lemah, baris-baris *pile cap* digabungkan menjadi satu *pile cap* monolit membentuk pondasi rakit (*raft foundation*).

Pondasi rakit (*raft foundation*) adalah pondasi yang membentuk rakit melebar ke seluruh bagian dasar bangunan. Bila luasan pondasi yang diperlukan > 50% dari luas bagian bawah bangunan maka lebih disarankan untuk menggunakan pondasi rakit, karena lebih memudahkan untuk pelaksanaan penggalian dan penulangan beton.

Penentuan dari dimensi atau ketebalan pondasi *pile cap* ditentukan oleh daya dukung yang dibutuhkan, faktor keamanan dan batas penurunan yang masih diizinkan, dengan memperhatikan kondisi dan jenis tanah di lokasi bangunan. Area maksimal yang tertutup oleh pondasi rakit umumnya adalah seluas bagian dasar bangunan. Jika daya dukung yang dibutuhkan masih belum tercapai, maka solusinya adalah memperdalam pondasi atau memperdalam ruang bawah tanah dari bangunan. Penurunan pondasi *pile cap* umumnya lebih seragam dibandingkan dengan penurunan pada pondasi telapak.

Pada proses analisisnya, pondasi *pile cap* dianggap sebagai material yang sangat kaku dan distribusi tekanan yang ditimbulkan akibat beban dapat dianggap linier. Pada pondasi *pile cap* setiap titik didukung secara langsung oleh tanah dibawahnya, sehingga momen lentur yang terjadi sangat kecil. Penyebaran tekanan pada dasar pondasi dihitung dengan persamaan berikut:

$$q = \frac{\Sigma}{A} + \frac{\Sigma(P \times y)}{Ix} + \frac{\Sigma(P \times X)}{Iy} \quad \dots\dots\dots (2.79)$$

Dimana :

ΣP = Jumlah total beban pondasi

A = Luas total pondasi pile cap

x, y = jarak eksentrisitas dari pusat beban kolom ke pusat pondasi

I_x, I_y = Momen inersia pondasi pile cap terhadap sumbu-x dan sumbu-y

Persyaratan yang harus dipenuhi :

Beban normal : $\sigma \text{ maks} \leq \sigma \text{ Tanah}$ Beban sementara : $\sigma \text{ maks} \leq 5 \times \sigma \text{ Tanah 1,}$

$\sigma \text{ Min} > 0$ (tidak boleh ada tegangan negatif)

Berat pile cap pada penampang kritis:

$$M_u = 2 \times \frac{P_u}{4} \times s - \frac{1}{2} \times q' \times B'$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}$$

$$\phi M_n = \phi A_s \cdot f_y \cdot (d - 1/2 \cdot a)$$

2.8 Analisa Struktur Menggunakan Program SAP 2000 v.14.

Program SAP 2000 v.14. adalah salah satu program analisa struktur yang telah dikenal luas dikalangan Teknik Sipil. Seiring dengan perkembangannya perangkat keras komputer, terutama prosesor yang mempunyai kemampuan kecepatan semakin tinggi, perangkat lunak juga

berkembang mengikuti kemajuan perangkat keras. Keunggulan SAP 2000 v.14. antara lain ditunjukkan dengan adanya fasilitas *Auto Select Section* untuk material profil beton maupun profil baja. sehingga pengguna tidak perlu menentukan profil untuk masing – masing elemen, tetapi cukup memberikan data profil secukupnya dan program akan memilih sendiri profil yang sesuai dengan beban rencana.

Secara garis besar, perancangan model struktur baik *truss* maupun *frame* dengan SAP 2000 v.14. ini akan melalui 10 tahapan yaitu :

1. Samakan Satuan
2. Buat Model Struktur
3. Definisikan Material yang dipakai
4. Definisikan Profil yang dipakai
5. Aplikasikan Profil pada Struktur
6. Definisikan Beban
7. Aplikasikan Beban
8. Cek Gambar Struktur – Model SAP2000
9. Run Analisis
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*.

