

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pendahuluan

Tujuan utama dari struktur adalah memberikan kekuatan pada suatu bangunan. Struktur bangunan dipengaruhi oleh beban mati (*dead load*) berupa berat sendiri, beban hidup (*live load*) berupa penurunan pondasi, tekanan tanah atau air, pengaruh temperatur dan beban akibat gempa.

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 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. *Dalam Tugas Akhir Syara Hanjaya, 2017*).

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 2.1. Jenis dan kelas baja tulangan menurut SII 0136-80

Jenis	Kelas	Simbol	Batas Ulur	Kuat Tarik
			Maksimum (MPa)	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

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 2.2 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> - Tulangan utama, pengikat, sengkang, lilitan spiral <u>Komponen struktur cangkang, pelat melipat :</u> - Batang D-19 dan yang lebih besar - Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau ulir D16 dan yang lebih kecil	40 20 40 20 15

2.3 Ketentuan Perencanaan Pembebanan

Adapun acuan yang digunakan dalam merencanakan pembebanan adalah sebagai berikut:

- 1) Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (SNI 03-2847-2013).
- 2) Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung (SNI 1726:2012).
- 3) Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727:2013).
- 4) Pedoman perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung (SKBI – 1.3.53.1987)

2.3.1 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 2.3. Berat Sendiri Bahan bangunan dan Komponen Gedung

Material Gedung	Berat (kg/m³)
Baja	7850
Batu alam	2600
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat teumpuk)	1500
Batu karang (berat tumpuk)	700
Batu pecah	1450
Besi tuang	7250
Beton	2200
Beton Bertulang	2400
Kayu (kelas I)	1000
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1650
Pasangan bata merah	1700
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200
Pasangan batu cetak	2200
Pasangan batu karang	1450
Pasir (kering udara sampai lembab)	1600
Pasir (jenuh air)	1800
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1850
Tanah lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1700
Tanah lempung dan lanau (basah)	2000
Timah hitam	11400
Komponen Gedung	Kg/m²
Adukan, per cm tebal	
- Dari semen	21
- Dari kapur, semen merah atau tras	17
Aspal, termasuk bhan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14

Dinding pasangan bata merah	
- Satu bata	450
- Setengah bata	250
Dinding pasangan batako	
Berlubang :	
- Tebal dinding 20 cm (HB 20)	200
- Tebal dinding 10 cm (HB 10)	120
Tanpa Lubang :	
- Tebal dinding 15 cm	300
- Tebal dinding 10 cm	200
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari :	
- Semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	11
- Kaca, dengan tebal 3 – 5 mm	10
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m ²	40
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,80 m	7
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m ² bidang atap	50
Penutup atas sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	40
Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa gordeng	10
Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11

2. 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 SNI 1727-2013

b) Beban hidup pada atap gedung

Tabel 2.4. Beban hidup pada lantai gedung

Beban Hidup	Berat (kg/m³)
a. Sistem lantai akses :	
- Ruang kantor	240
- Ruang komputer	479
b. Rumah Sakit :	
- Ruang operasi, laboratorium	287
- Ruang pasien	192
- Koridor di atas lantai pertama	383
c. Perpustakaan :	
- Ruang baca	287

Beban Hidup	Berat (kg/m ³)
- Ruang Penyimpanan	718
- Koridor di atas lantai pertama	383
d. Gedung perkantoran :	
- Ruang arsip kantor di rancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian lobi dan koridor lantai pertama	479
- Kantor	240
- Koridor di atas lantai pertama	383
e. Lembaga hukum :	
- Blok sel	192
- Koridor	479
f. Sekolah :	
- Ruang kelas	192
- Koridor di atas lantai pertama	383
- Koridor lantai pertama	479
g. Apartemen (rumah tinggal)	
- Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang	192
- Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang	383
- Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur	144
- Semua ruang kecuali tangga, balkon	192
- Atap	96
h. Ruang makan dan restoran	479
i. Tangga, dan jalan keluar	479
j. Rumah tinggal untuk satu dan dua saja	192

Sumber: SNI Beban Minimum (SNI 1727-2013)

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 :

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

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)

Desain Spektra Indonesia

Peta Google Peta MCE_G Peta MCE_R (S_2) Peta MCE_R (S_1) Peta C_R (C_{R2}) Peta C_R (C_{R1})

Jenis Input: Koordinat

Lintang:

Bujur:

Out of Indonesia

KETERANGAN (C_R):

0.8 - 0.85	0.9 - 0.95	1 - 1.05	1.1 - 1.15	1.2 - 1.25	1.3 - 1.4	> 1.5
0.85 - 0.9	0.95 - 1	1.05 - 1.1	1.15 - 1.2	1.25 - 1.3	1.4 - 1.5	

Dikembangkan oleh:
Tim Revisi Peta Gempa Indonesia-2010 bersama dengan Tim Pengembangan Peta Gerak Tanah Seismik dan Koefisien Risiko.

Dukungan Oleh:
Kementerian Pekerjaan Umum (PU), Institut Teknologi Bandung (ITB), Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Kementerian Riset dan Teknologi, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) + Australia-Indonesia Facility for Disaster Reduction (AIFDR), dan software dari

PETA ZONASI GEMPA INDONESIA

Logo of Kementerian Pekerjaan Umum and Institut Teknologi Bandung (ITB) are visible.

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

Jenis Batuan Tanah Sedang (D)

Copy Excel

Variabel	Nilai
$\rho_{SA} \text{ (g)}$	0.483
$\rho_{MS} \text{ (g)}$	1.103
$\rho_{M1} \text{ (g)}$	0.635
$\rho_{PS} \text{ (g)}$	0.735
$\rho_{D1} \text{ (g)}$	0.424
$T_0 \text{ (detik)}$	0.115
$T_S \text{ (detik)}$	0.576

Spektral Percepatan (g)

SA

$T \text{ (detik)}$

— Batuan (B) — Tanah Keras (C) — Tanah Sedang (D) — Tanah Lunak (E)

Tinjauan Ulang Kekuatan (Up) Struktur Gedung Fakultas Teknik Universitas Siliwangi Dengan Metode SNI 2847-2013

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 :

$$V = C_s \cdot W$$

Keterangan :

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

Koefisien respons seismik C_s , harus ditentukan sesuai dengan persamaan

$$\text{berikut : } C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_c}\right)}$$

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 :

$$F_x = C_{vx} \cdot V$$

$$\text{Dan } C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

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 periode 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: $V_x = \sum_{i=x}^n Fi$

Keterangan :

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

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

5. Beban Hujan, Salju dan Es

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

karena salju dapat meluncur dari atap tersebut. Akan tetapi, beberapa kondisi atap dapat mempengaruhi perilaku angin yang kemudian menghasilkan akumulasi beban salju setempat.

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

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.

2.3.2 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

$$U = 1,4 D$$

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

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

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:

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

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

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

$$U = 0,9 D \pm 1,0 W$$

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:

$$U = 0,9 D \pm 1,0 E$$

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*)

2.3.3 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.

2.4 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).

2.4.1 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

2.5 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, shearwall dan pondasi.

2.5.1. Rangka Atap Struktur Baja

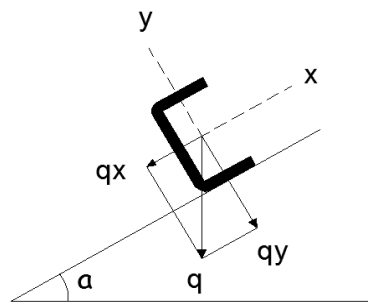
Atap merupakan struktur yang paling atas dari suatu bangunan gedung. Struktur atap dapat terbuat dari kayu, beton ataupun dari baja. Dalam tinjauan ulang kekuatan struktur gedung Fakultas Teknik Universitas Siliwangi Tasikmalaya ini struktur atap yang digunakan adalah struktur baja.

Dengan bantuan program SAP 2000 versi 14.2.2, gaya-gaya batang dari rangka dapat dihitung untuk kemudian menentukan dimensi struktur. Untuk persyaratan perencanaan konstruksi baja adalah:

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

- **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 2.3 Gaya kerja pada gording

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

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

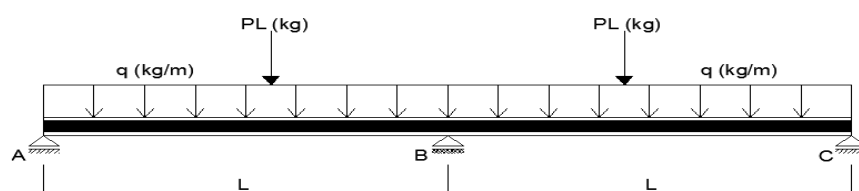
Keterangan :

q_x : Beban mati arah x

q_y : Beban mati arah y

α : Sudut kemiringan

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



Gambar 2.4 Gaya yang bekerja pada beban mati

Momen maksimum akibat beban mati :

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

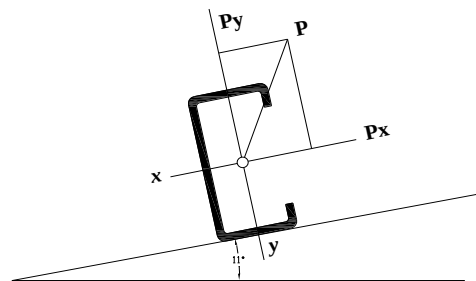
$$M_y = 1/8 \cdot q_y \cdot (l)^2$$

Dimana :

M_x : Momen maksimum arah x

M_y : Momen maksimum arah y

- **Beban Hidup / Live Load**



Gambar 2.5 Gaya yang bekerja pada beban hidup

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

$$P_x = P \cdot \sin a$$

$$P_y = P \cdot \cos a$$

Dimana :

P_x : Beban hidup arah x

P_y : Beban hidup arah y

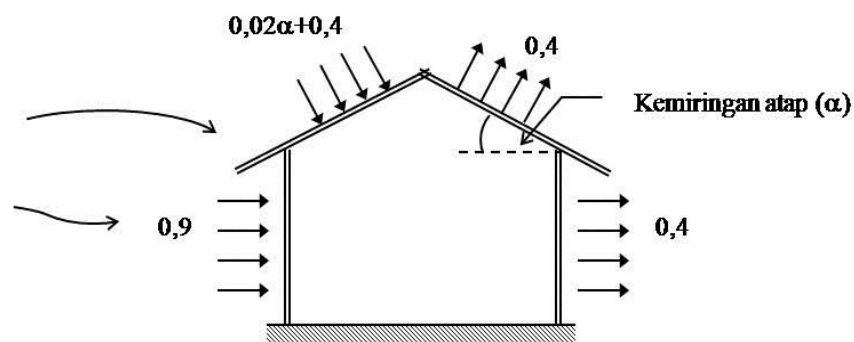
Momen yang timbul akibat beban terpusat dianggap sebagai momen *Continuous Beam*.

$$M_x = 1/4 \cdot P_x \cdot l$$

$$M_y = 1/4 \cdot P_y \cdot l$$

- **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 minimal 25 kg/m^2 .



Gambar 2.6 Gaya kerja pada beban angin

- **Kontrol Tegangan**

Akibat Beban Mati + Beban Hidup

$$\sigma = \frac{M_x}{W_y} + \frac{M_y}{W_x} \leq \bar{\sigma} = 1666,67 \text{ kg/m}^2$$

Akibat Beban Mati + Beban Hidup + Beban Angin

$$\sigma = \frac{M_x}{W_y} + \frac{M_y}{W_x} \leq 1,3 \cdot \bar{\sigma} = 1666,67 \text{ kg/m}^2$$

Dimana :

σ : Tegangan yang bekerja

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

W_x : Beban arah x

W_y : Beban arah y

- **Kontrol Lendutan**

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

$$f_x = \frac{5 \cdot q_x \cdot L^4}{348 \cdot E \cdot I_y} + \frac{1 \cdot P_x \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_y}$$

$$f_y = \frac{5 \cdot q_y \cdot L^4}{348 \cdot E \cdot I_x} + \frac{1 \cdot P_y \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_x}$$

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad \text{ketentuan : } f \leq F$$

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

4. Perhitungan Sagrod

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

G_x = Berat sendiri gording + penutup atap sepanjang sumbu x

P_x = beban hidup arah sumbu x

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

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

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

$$\sigma = \frac{P}{F_n} \leq \bar{\sigma}$$

$$F_n = \frac{P}{\sigma}$$

Dimana:

P : Beban hidup

q_x : beban mati arah x

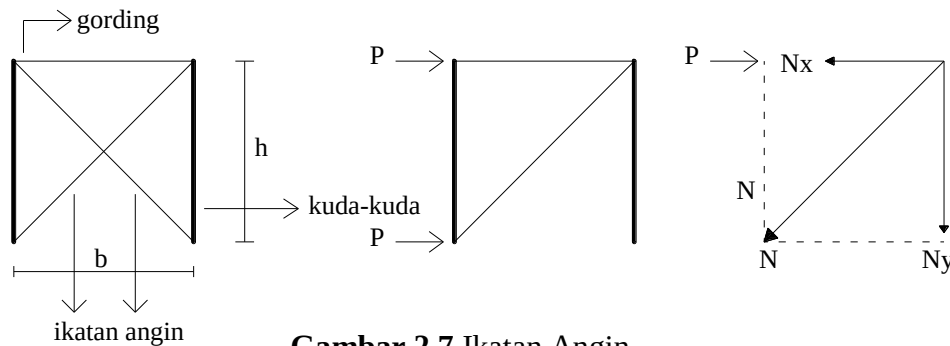
L : lebar bentang

F_n : gaya yang terjadi

5. Ikatan Angin

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

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



Gambar 2.7 Ikatan Angin

6. Perencanaan struktur gording baja menggunakan *SAP 2000 v.14.2.2*

- 1) Menggambar model gording dengan dukungan jepit – jepit
- 2) Memilih dimensi penampang profil gording (*Channel*)
- 3) Mendefinisikan kombinasi beban rencana
- 4) Menghitung beban yang bekerja
- 5) Memeriksa input data
- 6) Analisis struktur

• Sambungan Baut

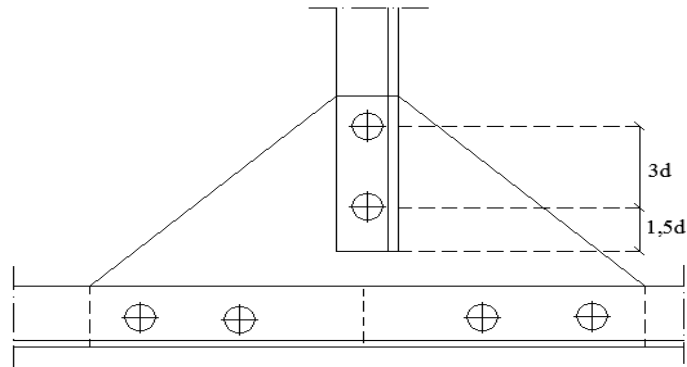
Baut adalah salah satu alat penyambung profil baja, selain paku keling dan las. Baut yang lazim digunakan sebagai alat penyambung profil baja adalah baut hitam dan baut berkekuatan tinggi, parameter sambungan baut sebagai berikut:

- a. Minimal dipakai 2 buah baut
- b. Jarak minimum antar baut

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

c. Jarak minimum baut menuju ujung profil

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



Gambar 2.8 Pembatasan Antar Baut

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

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

1) Tegangan dasar

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

2) Tegangan ijin baut

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

3) Tegangan tarik baut

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

4) Tegangan tumpu

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

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

5) Menentukan kekuatan satu baut

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

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

6) Jumlah baut yang dibutuhkan

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

2.5.2 Pelat

Pelat adalah komponen struktur yang merupakan sebuah bidang datar yang lebar dengan permukaan atas dan bawahnya sejajar. Pelat bisa bertulang 2 atau 1 arah saja, tergantung sistem strukturnya. Bila perbandingan antara panjang dan lebar pelat tidak melebihi 2, digunakan penulangan 2 arah.

Jenis-jenis pelat dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Pelat satu arah (*one way slab*). Ditumpu oleh balok anak yang ditempatkan sejajar satu dengan yang lainnya, dan perhitungan pelat dapat dianggap sebagai balok tipis yang ditumpu oleh banyak tumpuan.

2. Pelat satu arah mempunyai nilai perbandingan antara sisi panjang dan sisi pendek lebih dari dua atau $\frac{l_y}{l_x} \geq 2$
3. Pelat rusuk satu arah (*one way rib/joist slab*). Ditumpu oleh rusuk, anak balok yang jarak satu dengan yang lainnya sangat berdekatan, sehingga secara visual hampir sama dengan pelat satu arah.
4. Pelat dua arah. Pelat yang keempat sisinya ditumpu oleh balok dengan perbandingan $\frac{l_x}{l_y} \leq 2$, perhitungan pelat didasarkan umumnya dilakukan dengan pendekatan dua arah yang tercantum dalam tabel momen pelat dua arah akibat beban terbagi rata.
5. Pelat *wafel*. Pelat dua arah yang ditumpu oleh rusuk dua arah, pelat ini memberikan kekakuan yang cukup besar, sehingga dapat memikul beban vertikal atau dapat digunakan untuk bentang lantai yang besar.

Pelat lantai yang direncanakan adalah pelat lantai dua arah yang didukung pada keempat sisinya. Langkah-langkah yang digunakan meliputi:

1. Menentukan syarat batas dan bentang (I_x dan I_y).
2. Menentukan tebal minimum pelat yang tercantum dalam SNI-2847-2013
Pasal 9.5.3.3 adalah sebagai berikut ini.
 - a. Untuk $\alpha_m \leq 0,2$ ketebalan pelat minimum meliputi:
 - 1) Pelat tanpa penebalan : 120 mm
 - 2) Pelat dengan penebalan : 100 mm
 - b. Untuk $0,2 \leq \alpha_m \leq 2,0$ ketebalan pelat minimum sesuai persamaan:

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

Dan tidak boleh kurang dari 120 mm

c. Untuk $\alpha_m \geq 2,0$ ketebalan pelat minimum memenuhi persamaan:

$$h = \frac{\lambda_n \left[0,8 - \frac{f_y}{1400} \right]}{36 - 9 \cdot \beta}$$

Dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

d. Untuk tebal pelat tidak boleh lebih dari:

$$h = \frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36}$$

Dengan:

h = tebal pelat minimum (mm).

f_y = tulangan leleh baja tulangan (MPa).

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

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

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

λ_n = panjang bentang bersih dalam arah memanjang dari konstruksi dua arah, diukur dari muka ke muka tumpuan

pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lain pada kasus lainnya.

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

$$\alpha = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cp} \cdot I_p}$$

Dengan:

E_{cb} = modulus elastisitas balok beton

E_{cp} = modulus elastisitas pelat beton

I_b = momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok

I_p = momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat

3. Menghitung beban-beban yang dipikul pelat dengan persamaan.

$$W_u = 1,2W_D + 1,6W_L$$

Dengan : W_u = beban ultimit

W_D = beban mati

W_L = beban hidup

4. Menghitung $k = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2}$

Dengan : k = koefisien tahanan

M = momen yang ditinjau

b = lebar per meter pelat

d = tinggi efektif pelat

2.5.3 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.

1. 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 $\varepsilon_y = f_y / E_s$

2. 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*.

3. Penampang *Under-Reinforced*

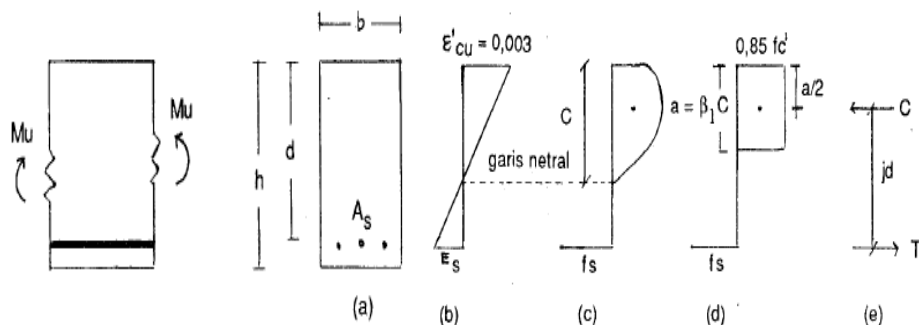
Keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan baja. Tulangan baja ini terus bertambah panjang dengan bertambahnya regangan di atas ε_y .

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.

1. Tulangan Tunggal

Tulangan tunggal adalah cara penulangan pada satu sisi penampang. Konsekuensi penulangan ini tentu saja diperlukan penampang yang relatif tinggi. Akibat dari penampang yang relatif tinggi ini, tinggi ruangan akan berkurang, tetapi lendutan balok menjadi kecil.



Gambar 2.9 Penampang Lentur Tulangan Tunggal (a. Penampang
b. Diagram regangan c. Diagram tegangan aktual
d. Diagram tegangan ekuivalen)

Sumber: (*kontruksi beton bertulang element lentur; Ir Mukahar MSCE*)

Penampang segiempat bertulangan tunggal dengan beban lentur seperti tampak pada gambar. Akibat adanya momen lentur, pada umumnya sebagian penampang akan mengalami tegangan tekan dan lainnya

mengalami tegangan tarik. Akibat tegangan tekan akan terjadi gaya-dalam berupa gaya tekan yang diberikan oleh beton di daerah tekan tersebut. Tegangan tarik akibat momen lentur akan menimbulkan gaya tarik yang diberikan oleh baja tulangan tarik.

- a. Besarnya gaya tekan oleh beton adalah:

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

Dengan:

a = tinggi balok tegangan ekuivalen (mm)

b = lebar balok (mm)

f'_c = kuat tekan beton yang disyaratkan (Mpa)

- b. Besarnya gaya tarik oleh baja tulangan adalah:

$$T = A_s \cdot f_y$$

Dengan:

A_s = luas baja tulangan (mm^2)

f_y = tegangan baja tulangan, (Mpa)

- c. Keseimbangan gaya horizontal (Gb.d)

$$\sum H = 0$$

$$T = C$$

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

$$\text{Jadi : } a = \beta_1 \cdot c$$

- d. Redistribusi momen negatif pada balok lentur menerus (SNI 03-2847.10).

- 1) Bila tidak digunakan nilai momen pendekatan maka untuk semua konfigurasi pembebanan dapat direduksi atau diperbesar.

- 2) Redistribusi momen negatif hanya boleh dilakukan bila penampang yang momennya direduksi direncanakan sedemikian hingga $\rho - \rho'$ tidak melebihi $0,50 \rho_b$.
- e. Pasal 10.2.7.3 SNI 03-2847-2013: Faktor β_1 diambil sebagai berikut:
- 1) Untuk $17 \text{ Mpa} \leq f_c' \leq 28 \text{ Mpa}$, $\beta_1 = 0,85$
 - 2) Untuk $f_c' > 28 \text{ Mpa}$, $\beta_1 = 0,85 - 0,05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right)$ tetapi $\beta_1 \geq 0,65$
- f. Dalam pemeriksaan penampang balok harus memenuhi kriteria:

$$M_n > M_u$$

$$\phi \cdot M_n > M_u$$

Dimana: ϕ : faktor reduksi akibat kesalahan dalam pelaksanaan ($\phi = 0,80 \Rightarrow$ SNI 03-2847-2002)

M_n : momen nominal dari penampang

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

DL = beban mati, LL = beban hidup

- g. Batasan Tulangan Tarik pada balok bertulangan tunggal

Batasan tulangan tarik minimum, Pasal 10.5 SNI 2847 – 2013

membatasi tulangan tarik minimum adalah sebesar : $\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$

- h. Agar penampang beton dapat mendekati keruntuhan seimbang, diberikan syarat berikut:

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

$$\text{dengan : } A_{s \max} = 0,75 \cdot A_{s,b} \text{ dan } \rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

- 1) Dalam keadaan *balanced*

Keadaan seimbang akan terjadi jika nilai:

$$\varepsilon_c' = \varepsilon_{cu}' = 0,003 \text{ dan } \varepsilon_s = \varepsilon_y \text{ atau } \varepsilon_s = \frac{f_y}{E_s}$$

- a) Modulus elastisitas beton untuk nilai W_c diantara 1500 kg/m^3 dan 2500 kg/m^3 , nilai modulus elastisitas beton E_c dapat diambil sebesar $(W_c)^{1,6} 0,043 \sqrt{f'_c}$ (dalam MPa).

Untuk beton normal E_c dapat diambil sebesar $4700 \sqrt{f'_c}$

- b) Modulus elastisitas untuk tulangan $E_s = 200000 \text{ MPa}$.
- c) Garis netral kondisi *balanced*

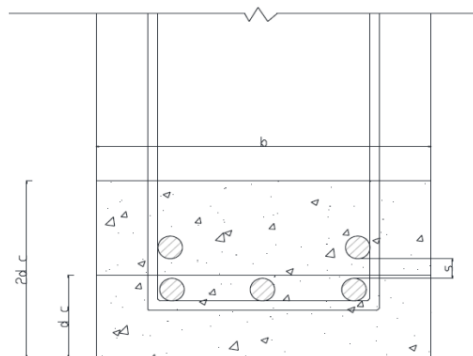
$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \text{ atau } \rho b = \frac{A_s \cdot b}{bd}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta_1 f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

Dimana c_b = garis netral kondisi *balanced*

ρ_b = perbandingan tulangan kondisi regangan berimbang



Gambar 2.10 Luas Tarik Epektif Beton

2. Tulangan Ganda

Pada suatu penampang yang dibebani momen lentur cukup besar sehingga dengan tulangan tunggal belum cukup mengimbangi momen-luar, maka perlu memperbesar dimensi penampang atau memberi tulangan tekan dalam upaya menambah momen-dalam. Dalam hal penambahan tulangan tekan berarti terjadi penulangan ganda pada penampang tersebut.

Sebenarnya alasan utama penggunaan tulangan ganda adalah untuk menanggulangi deformasi jangka panjang sebagai fungsi waktu, misalnya rangkai dan susut. Sehingga keberadaan tulangan tekan akan membebaskan beton terhadap gaya tekan yang menerus. Disamping itu, kemungkinan adanya momen lentur bolak-balik, juga merupakan dasar penggunaan tulangan ganda. Alasan ini secara sepintas memang tampak lebih normal, mengingat:

- a. Penambahan tulangan tekan, akan menghasilkan tambahan kekuatan yang tidak sebanding dengan jumlah tulangan yang ditambahkan itu sendiri.
- b. Karena terbatasnya tinggi balok, lalu ditambah tulangan tekan. Dilihat dari masalah lendutan, balok yang rendah akan mengalami lendutan yang cukup besar.
- c. Penambahan tulangan tekan pada balok rendah berarti memaksakan balok tetap rendah. Balok yang rendah akan memerlukan

Guna menganalisis tulangan ganda aspek yang sangat penting untuk diperhatikan adalah pemeriksaan tegangan tulangan tekan, dalam arti

tulangan tekan telah leleh atau belum ada kekuatan nominal balok. Pada awal analisis dianggap tulangan tekan telah mencapai tegangan leleh. Tetapi bila ternyata sebagian atau seluruh tulangan tekan belum mencapai tegangan lelehnya, maka perlu memperbaiki hitungan dengan memakai tegangan sebenarnya. Dalam hal semua tulangan mencapai tegangan leleh, maka $f_s = f'_s = f_y$, dengan $f_{s\ a}$ adalah tegangan baja tarik, f'_s adalah tegangan baja tekan, dan f_y tegangan leleh baja, semua dalam satuan Mpa.

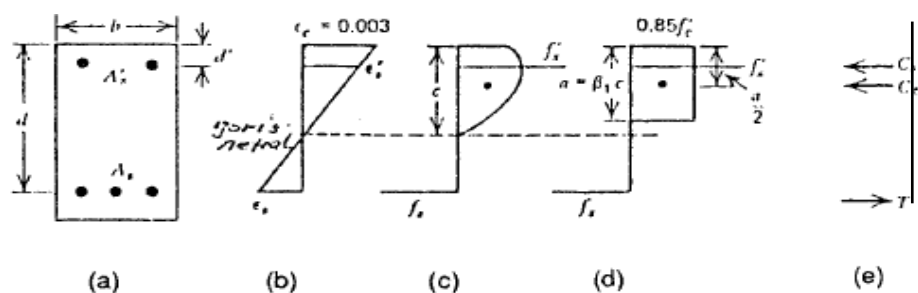
keseimbangan gaya-gaya-dalam

Gaya tekan beton:

$$C_C = 0,85 f'_c \cdot a_b$$

Gaya tekan baja:

$$C_S = A'_s \cdot (f_s - 0,85 f'_c)$$



Gambar 2.11 Penampang Tulangan Ganda (a. Penampang b. Diagram regangan c. Blok tegangan aktual d. Blok tegangan ekuivalen e. Gaya-gaya-dalam

Prinsip analisis penampang bertulangan ganda menganggap tulangan tarik terdiri dari tulangan berimbang dan tulangan untuk mengimbangi baja tekan. Jika:

- a. Dianggap baja tekan telah leleh maka keseimbangan gaya-dalam memberikan hasil sebagai berikut:

$$T = C_s + C_c$$

$$A_s \cdot f_y = A'_s \cdot f_y + 0,85 f'_c \cdot a \cdot b$$

- b. Diagram regangan dapat dipakai untuk memeriksa kelelahan baja tulangan dari kesebangunan segitiga diagram regangan dapat ditulis:

$$\epsilon_s = 0,003 \frac{c - d'}{c} = 0,003 \frac{\beta_1 d - d'}{a}$$

- c. Baja tulangan tekan yang mencapai tegangan leleh $f'_s = f_y$ bila:

$$0,003 \frac{a - \beta_1 d'}{a} \geq \frac{f_y}{\epsilon_s}$$

- d. Maka kapasitas momen lentur sebesar:

$$M_n = C_c (d - 0,5 a) + C_s (d - d')$$

$$M_u = \phi \cdot M_n$$

- ❖ Kondisi diatas dimana baja tulangan tarik dan tekan telah leleh.

Bila ternyata baja tekan atau tarik atau keduanya tidak leleh, maka hitungan di atas harus diulang dengan menggunakan tegangan-tegangan aktual.

Besarnya tegangan baja tekan maupun tarik berturut-turut yaitu:

$$f'_s = \epsilon' E_s = 0,003 \frac{a - \beta_1 d}{a} E_s \text{ atau } f_y$$

$$f_s = \epsilon_s E_s = 0,003 \frac{\beta_1 d - a}{a} E_s \text{ atau } f_y$$

Kapasitas momen lentur menjadi:

$$M_n = 0,85 f'_s a b (d - 0,5 a) + A'_s f_s (d - d')$$

Perlu diingat bahwa dalam hal ini baja tulangan dianggap telah mencapai tegangan leleh, sehingga perlu diperiksa kebenaran anggapan tersebut. Dari kesebangunan segitiga diagram regangan, agar baja tekan mencapai tegangan leleh diperlukan:

$$\epsilon'_s = 0,003 \frac{c-d'}{c} = 0,003 \frac{a-\beta_1 d'}{a} \geq \frac{f_y}{E_s}$$

$$a \geq \frac{0,003}{0,003 - f_y / E_s} \beta_1 d$$

Apabila tulangan tekan belum leleh, maka tegangan dihitung kembali yaitu menghitung nilai a dengan memakai diagram regangan. Besarnya tegangan aktual tersebut adalah:

$$f_s = \epsilon'_s E_s = 0,003 \frac{a-\beta_1 d}{a} E_s$$

3. Kuat Geser Balok

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

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

$$V_r = \phi V_n \text{ dan } \phi V_n \geq V_u$$

$$V_n = V_c + V_s$$

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

b. Pasal 11.2.1 SNI 2847-2013, gaya geser yang ditahan oleh beton (V_c)

dihitung dengan rumus:

$$V_c = \frac{1}{6} \lambda \sqrt{f'c} b d$$

c. Pasal 11.4.7.2 SNI 2847-2013, gaya geser yang ditahan oleh begel (V_s)

dihitung dengan rumus:

$$V_s = \frac{A_v f_{ys} d}{s}$$

d. Pasal 11.4.7.9 SNI 2847-2013

$$V_s \text{ harus } \leq \frac{2}{3} \sqrt{f'c} b d$$

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

e. Spasi begel (s) dihitung dengan rumus berikut:

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

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

$$s \leq \frac{d}{2} \text{ dan } s \leq 600 \text{ mm}$$

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

$$s \leq \frac{d}{4} \text{ dan } s \leq 300 \text{ mm}$$

Dengan:

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

dp : diameter begel dari tulangan polos, mm

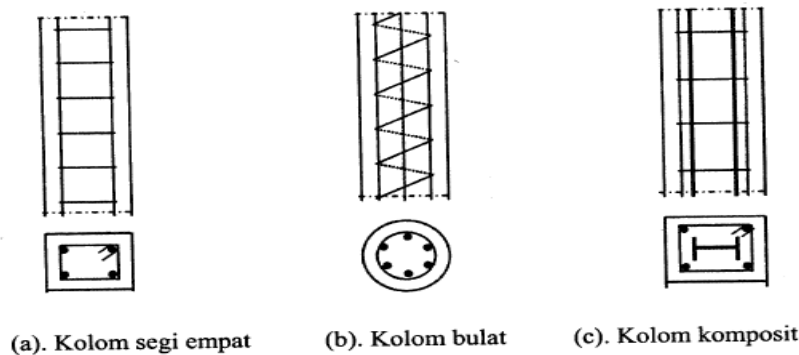
2.5.4. Kolom

Pada suatu konstruksi bangunan gedung, kolom berfungsi sebagai pendukung beban-beban dari balok dan pelat, untuk diteruskan ke tanah dasar melalui pondasi. Beban dari balok dan pelat ini berupa beban aksial tekan serta momen lentur (akibat kontinuitas konstruksi). Oleh karena itu dapat didefinisikan, kolom ialah suatu struktur yang mendukung beban aksial dengan/tanpa momen lentur. Pada struktur bangunan atas, kolom merupakan komponen struktur yang paling penting untuk diperhatikan, karena apabila kolom ini mengalami kegagalan, maka dapat berakibat keruntuhan struktur bangunan atas dari gedung secara keseluruhan.

a. Jenis Kolom Berdasarkan Bentuk dan Susunan Tulangan

Berdasarkan bentuk dan susunan tulangan, kolom dibedakan menjadi 3 macam, yaitu sebagai berikut:

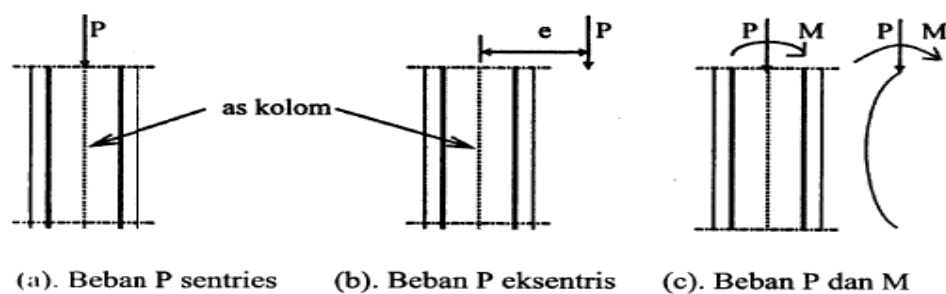
- 1) Kolom segi empat, baik berbentuk empat persegi panjang maupun bujur sangkar, dengan tulangan memanjang dan sengkang.
- 2) Kolom bulat dengan tulangan memanjang dan sengkang atau spiral.
- 3) Kolom komposit, yaitu kolom yang terdiri atas beton dan profil baja struktural yang berada didalam beton.



Gambar 2.12 Jenis Kolom Berdasarkan Bentuk dan Susunan Tulangan

b. Jenis Kolom Berdasarkan Letak/Posisi Beban Aksial

Berdasarkan letak beban aksial yang bekerja pada penampang kolom, kolom dibedakan menjadi 2 macam, yaitu kolom dengan posisi beban sentris dan kolom dengan posisi beban eksentris. Untuk kolom dengan posisi beban sentris, berarti kolom ini menahan beban aksial tepat pada sumbu kolom. Pada keadaan ini seluruh permukaan penampang beton beserta tulangan kolom menahan beban tekan. Untuk kolom dengan posisi beban eksentris, berarti beban aksial bekerja diluar sumbu kolom dengan eksentrisitas sebesar e . Beban aksial P dan eksentrisitas e ini akan menimbulkan momen (M) sebesar $M = P \cdot e$. Dengan demikian, kolom yang menahan beban eksentris ini pengaruhnya sama dengan kolom yang menahan beban aksial sentris P serta momen M .



Gambar 2.13 Jenis Kolom Berdasarkan Letak Beban Aksial

Keadaan lebih lanjut pada kolom dengan beban aksial eksentrisitas ini masih dibedakan lagi menjadi 4 macam berdasarkan nilai e , yaitu:

1) Nilai Eksentrisitas e Kecil

Untuk nilai e kecil, maka momen M ($M = P \cdot e$) ditimbulkan juga kecil. Pada keadaan ini kolom akan melengkung sesuai dengan arah momen lentur, sehingga ada sebagian kecil beton serta baja tulangan di sebelah kiri menahan tegangan tarik, dan sebagian besar beton dan tulangan sebelah kanan menahan tegangan tekan. Karena tegangan tarik yang terjadi pada baja tulangan sebelah kiri cukup kecil, maka kegagalan kolom akan ditentukan oleh hancurnya material beton tekan sebelah kanan. Keadaan ini disebut kolom pada kondisi beton tekan menentukan, atau kolom pada kondisi patah tekan.

2) Nilai Eksentriditas e Sedang

Untuk nilai e sedang, maka momen M yang ditimbulkan juga tidak begitu besar. Pada keadaan ini, sebagian beton serta baja tulangan sebelah kiri menahan tegangan tarik, sedangkan sebagian beton serta baja tulangan sebelah kanan akan menahan tegangan tekan. Tegangan tarik yang terjadi pada baja tulangan sebelah kiri dapat mencapai leleh pada saat bersamaan dengan hancurnya material beton sebelah kanan yang menahan tegangan tekan. Keadaan ini sering disebut kolom pada kondisi seimbang (*balance*).

3) Nilai Eksentrisitas e Besar

Untuk nilai e besar, maka momen M yang ditimbulkan juga besar. Pada keadaan ini, tegangan tarik pada baja tulangan sebelah kiri makin besar sehingga mencapai leleh, tetapi material beton sebelah kanan masih kuat menahan beban tekan, maka dari kegagalan yang terjadi ditentukan oleh lelehnya baja tulangan tersebut. Keadaan ini sering disebut kolom pada kondisi tulangan tarik menentukan, atau kolom kondisi patah tarik.

4) Nilai Eksentrisitas e Sangat Besar

Karena nilai e sangat besar, maka momen M yang ditimbulkan juga sangat besar, sehingga beban aksial P dapat diabaikan (relatif kecil terhadap momen M). Pada keadaan ini seolah olah kolom hanya menahan momen lentur saja, sehingga dapat dihitung seperti balok biasa.

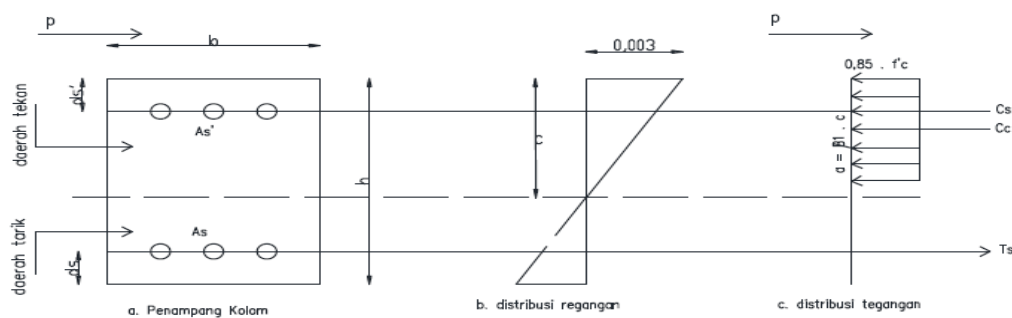
c. Jenis Kolom Berdasarkan Panjang Kolom

Berdasarkan ukuran panjang dan pendeknya, kolom dibedakan atas 2 macam yaitu kolom panjang (sering pula disebut kolom langsing atau kolom kurus), dan kolom pendek (sering pula disebut kolom tidak langsing atau kolom gemuk). Beban yang bekerja pada kolom panjang, dapat menyebabkan terjadinya kegagalan/keruntuhan kolom akibat kehilangan stabilitas lateral karena bahaya tekuk ini tidak pernah dijumpai. Jadi kegagalan/keruntuhan pada kolom pendek sering disebabkan oleh kegagalan materialnya (lelehnya baja tulangan dan atau hancurnya beton).

1. Asumsi Dasar Perencanaan Kolom

Sama halnya dengan balok, pada perencanaan kolom juga digunakan asumsi dasar.

- a. Pasal 10.2.3 SNI 2847-2013: Regangan maksimum yang dapat dimanfaatkan pada serat tekan beton terluar harus diasumsikan sama dengan 0,003.
- b. Pasal 10.2.4 SNI 2847-2013: Tegangan pada tulangan yang nilainya lebih kecil daripada kekuatan leleh f_y harus diambil sebesar E_s dikalikan regangan baja. Untuk regangan yang nilainya lebih besar dari regangan leleh yang berhubungan dengan f_y , tegangan tulangan harus diambil sama dengan f_y .
- c. Pasal 10.2.7.1 SNI 2847-2013: Tegangan beton sebesar $0,85f'_c$ diasumsikan terdistribusi secara merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar dengan sumbu netral sejauh $a = \beta_1 c$ dari serat dengan regangan tekan maksimum.
- d. Pasal 10.3.6 SNI 2847-2013: Desain beban aksial ϕP_n dari komponen struktur tekan tidak boleh lebih besar dari $\phi P_{n,max}$,



Gambar 2.14 Diagram Regangan dan Tegangan pada Penampang Kolom

2. Kelangsingan Kolom

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

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

$$\frac{klu}{r} \leq 22$$

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

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

- c. Untuk kolom yang tidak dapat bergoyang berlaku:

$$\frac{k \lambda_{nk}}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)$$

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

Dengan:

k = faktor panjang efektif kolom.

λ_{nk} = panjang bersih kolom, m.

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

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

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

3. Ragam Kegagalan Material pada Kolom

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

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

Kondisi *balanced* terjadi apabila keruntuhan diawali dengan lelehnya tulangan yang tertarik sekaligus juga hancurnya beton yang tertekan. Apabila P_n adalah beban aksial dan P_{nb} adalah beban aksial pada kondisi *balanced*, maka:

P_n	$< P_{nb}$	keruntuhan tarik
P_n	$= P_{nb}$	keruntuhan <i>balanced</i>
P_n	$> P_{nb}$	keruntuhan tekan

Keruntuhan *balanced* pada kolom:

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d$$

$$a_b = \beta_1 c$$

$$P_{nb} = 0,85 f'_c b a_b + A'_s f'_y - A_s f_y$$

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

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

Keruntuhan Tarik pada Kolom Segiempat:

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

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

$$M_{n0} = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Keruntuhan Tekan pada Kolom Segiempat:

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

4. Kuat Geser Kolom

Menurut SNI-2847-2013, 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.

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{H}$$

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:

$$\phi.V_n \geq V_n + V_c$$

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

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

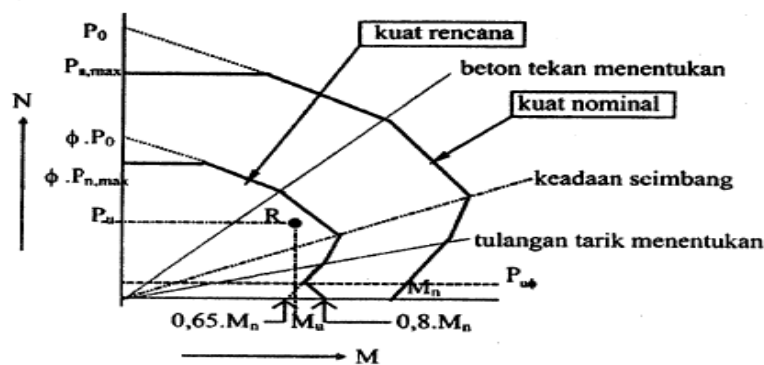
Pada daerah sepanjang sendi plastis (sepanjang λ_o), SNI-2847-2013 Pasal 21.3.5.6 mensyaratkan untuk tetap meninjau V_c selama gaya tekan aksial termasuk akibat pengaruh gempa melebihi $A_g.f'_c/10$. Dalam hal ini sangat jarang gaya aksial kolom kurang dari $A_g.f'_c/10$. Sehingga V_c pada daerah sendi plastis bisa tetap diabaikan ($V_c = 0$), hal ini karena meskipun peningkatan gaya aksial meningkatkan nilai V_c tetapi juga meningkatkan penurunan ketahanan geser.

5. Diagram Interaksi Kolom

Beban yang terjadi pada kolom, biasanya berupa kombinasi antara beban aksial dan momen lentur. Besar beban aksial dan momen lentur yang mampu ditahan oleh kolom bergantung pada ukuran/dimensi kolom, dan jumlah serta letak baja tulangan yang ada/terpasang pada kolom tersebut. Hubungan antara beban aksial dan momen lentur digambarkan dalam suatu diagram yang disebut diagram interaksi kolom M–N. Manfaat dari diagram interaksi kolom M–N,

yaitu dapat memberikan gambaran tentang kekuatan dari kolom yang bersangkutan.

Untuk satu penampang kolom, dapat digambarkan diagram interaksi kolom yang meliputi 3 macam, yaitu: diagram interaksi kolom untuk kuat rencana, diagram interaksi kolom untuk kuat nominal, dan diagram interaksi kolom untuk kuat batas (kapasitas). Untuk keperluan tersebut, nilai P_u dan M_u diplotkan pada sumbu diagram. Kemudian dengan membuat garis horizontal dari beban P_u dan membuat garis vertikal dari momen M_u , maka diperoleh titik potong R. Sebaliknya jika titik R berada di luar diagram interaksi kuat rencana, kolom tersebut tidak mampu menahan beban yang bekerja.



Gambar 2.15 Contoh Diagram Interaksi Kolom M-N

Sumber: Ali Asroni (2010)

2.6 Analisa Struktur Menggunakan Program SAP2000 versi 14.2.2.

Program SAP2000 versi 14.2.2. 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. Salah satu kelebihan

program ini adalah 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.

Urutan proses analisis dan desain struktur dalam SAP2000 adalah sebagai berikut:

- Penentuan Model Struktur
- Penetapan Penampang Struktur
- Penetapan Penampang Elemen Struktur
- Penetapan Kondisi Pembebanan
- Penentuan Beban Pada Struktur
- Analisis Model
- Penampilan Deformasi Struktur
- Penampilan Gaya-Gaya Dalam
- Pemeriksaan Tegangan Elemen