

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Konsep Perencanaan Gedung

Suatu struktur bangunan bertingkat tinggi harus dapat memikul beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut, diantaranya beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi meliputi beban mati dan beban hidup yang membebani struktur, sedangkan yang termasuk beban lateral adalah beban angin dan beban gempa.

Pada perencanaan struktur gedung umumnya menggunakan struktur beton bertulang. Berdasarkan SNI 03-2847-2002 beton bertulang merupakan beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja. Sifat utama dari beton yaitu kuat terhadap beban tekan tapi lemah terhadap tarik. Sementara sifat utama dari baja tulangan yaitu kuat terhadap beban tarik. Oleh karena itu kedua bahan ini dipadukan menjadi kesatuan secara komposit, maka akan diperoleh bahan baru yang disebut beton bertulang. Sistem struktur bangunan yang dibuat dengan beton bertulang dirancang dari prinsip dasar desain dan penelitian elemen beton bertulang yang menerima gaya-gaya dalam seperti gaya geser, gaya aksial, momen lentur, dan momen puntir.

Jenis tulangan mengacu SII 0136 – 80, Dipohusodo menyebutkan pengelompokan baja tulangan untuk beton bertulang sebagaimana ditunjukkan pada tabel 2.1 berikut:

Tabel 2. 1 Mutu Tulangan Baja SNI 03-6861-2002, Spesifikasi Bahan Bangunan dari Besi/ Baja

Jenis	Kelas	Simbol	Kuat Leleh Minimum, f_y , kg/mm^2 (Mpa)	Kuat Tarik Minimum, f_u , kg/m^2 (MPa)
Polos	1	Bj.TP 24	24 (235)	39 (382)
	2	Bj.TP 30	30 (294)	49 (480)
Ulir	1	Bj.TD 24	24 (235)	39 (382)
	2	Bj.TD 30	30 (294)	49 (480)
	3	Bj.TD 35	35 (343)	50 (490)
	4	Bj.TD 40	40 (392)	57 (559)
	5	Bj.TD 50	50 (490)	63 (610)

Sementara itu berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1 untuk melindungi tulangan terhadap bahaya korosi maka disebelah 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	Selimut Beton (mm)
a. Beton yang dicor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah	75
b. Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca: Batang D-19 hingga D-57	50
Batang D-16, kawat M-16 ulir atau polos, dan yang lebih kecil	40
c. Beton yang tidak langsung berhubungan dengan cuaca atau tanah:	

Kondisi Struktur	Selimut Beton (mm)
<u>Slab, dinding, balok usuk:</u>	
Batang tulangan D-44 dan D-57	40
Batang tulangan D-36 dan yang lebih kecil	20
<u>Balok, kolom:</u>	
Tulangan utama, pengikat, sengkang, spiral	40
<u>Komponen struktur cangkang, pelat lipat:</u>	
Batang tulangan D-19 dan yang lebih besar	20
Batang tulangan D-16, kawat M-16 ulir atau polos, dan yang lebih kecil	13

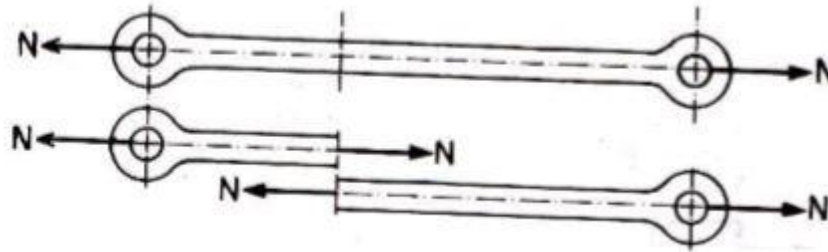
1. Untuk beberapa tipe struktur seperti bendungan, pilar jembatan, dan fondasi, beton bertulang merupakan pilihan material yang paling ekonomis.
2. Beton dapat dicetak menjadi beragam bentuk penampang.
3. Dalam pekerjaannya tidak terlalu membutuhkan tenaga kerja dengan keterampilan yang tinggi jika dibandingkan dengan struktur baja.

2.2 Gaya Dalam

Gaya yang bekerja pada suatu bangunan (kontruksi) atau benda. Dengan perantaraan bangunan atau benda tersebut gaya membentuk keseimbangan. Tiap-tiap bagian bangunan melimpahkan akibat gaya itu kepada bagian yang lain, atau menerimanya dari bagian yang lain. Hal itu menimbulkan gaya di dalam bagian bangunan tersebut, yang kita namai gaya dalam. Gaya dalam menimbulkan perubahan bentuk (deformasi) pada bagian kontruksi, yang di lawan oleh tegangan di dalamnya, sehingga keseimbangan dalam tercapai. Gaya dalam itu boleh juga dikatakan resultan berbagai tegangan. (Soemono,1976)

2.2.1 Gaya Normal

Batang lurus yang ditarik oleh dua kekuatan N yang sama besar dan berlawanan arah, dan yang garis kerjanya berimpit dengan sumbu batang (bekerja sentris).



Gambar 2. 1 Gaya Normal
(Sumber : Statika I, Soemono)

Dengan perantaraan batang tersebut, potongan melintang di T , bagian kiri akan bergerak ke kiri dan bagian kanan ke kanan. Untuk mencegah hal itu (supaya benda tetap utuh), harus ada gaya yang menarik ujung (tampang) kanan bagian kiri ke kanan, dan gaya yang menarik ujung kiri bagian kanan ke kiri. Kedua gaya ini masing-masing sama besarnya dengan N dan terdapat pada semua tampang

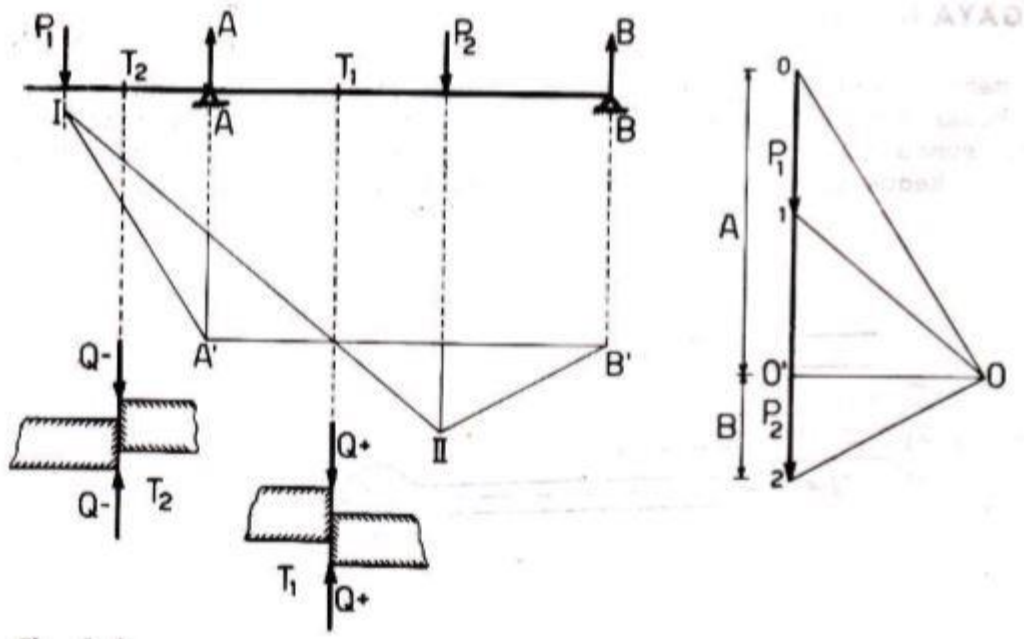
Pada batang tadi, Gaya tampang ialah gaya dalam yang disebut gaya dalam normal sentris menarik, atau secara ringkas gaya normal tarik sentris. Apabila kekuatan luar N tadi di balik arahnya, sifatnya menjadi menekan, dan gaya dalam yang di timbulkannya menjadi gaya normal tekan sentris. Pada umumnya tampang batang menahan gaya normal sentris (menarik atau menekan menurut keadaan). Perlu diterangkan pula disini, pada tampang itu arah garis normalnya tetap tak berubah, yaitu normal luar bekerja (jadi, semua tampang yang semula sejajar, tetap begitu atau tidak berputar sudut satu sama lain).

Demikianlah sifat deformasi oleh kekuatan normal sentris. Untuk memudahkan hitungan, bahwa gaya tarik itu positif dan gaya tekan negatif.

2.2.2 Gaya Geser atau Gaya Lintang

Balok seperti dalam gambar 2.2 mengadakan potongan melintang di titik T_1 . Resultan gaya pada bagian batang yang kiri, yaitu resultan gaya P_1

dan A sebesar $Q = 0'1 = A - P_1$, bekerja ke atas melalui titik ini. Begitu jg resultan gaya di bagian batang yang kanan, yaitu resultan gaya P_2 dan B sebesar $P_2 - B = 1 0' = Q$, bekerja ke bawah.



Gambar 2. 2 Gaya Melintang
(Sumber : Statika I, Soemono)

Tampang T_1 , tampang kiri akan bergerak keatas oleh gaya ke atas Q , dan tampang kanan akan bergerak ke bawah akibat gaya sebesar Q pula, atau secara ringkas : kedua tampang itu bergeser satu terhadap yang lain. Untuk menghindari pergeseran tersebut, tampang bagian kiri di seret ke bawah dan tampang kanan ke atas, masing- Masing gaya dalam Q ini dinamai gaya geser atau gaya lintang.

Juga di sini di adakan persetujuan tentang tanda + atau - untuk gaya geser Q itu. Jika pada suatu potongan melintang, ujung bagian kiri itu terhadap ujung bagian kanan bergeser ke atas (atau ujung bagian kanan bergeser ke bawah terhadap yang kiri), gaya lintang demikian tersebut disebut positif. Untuk mencegah pergeseran kedua ujung itu, ujung bagian kiri diseret kembali kebawah oleh bagian kanan dan ujung bagian kanan diseret kembali ke atas oleh bagian kiri. Gaya lintang positif sebesar $A - P$

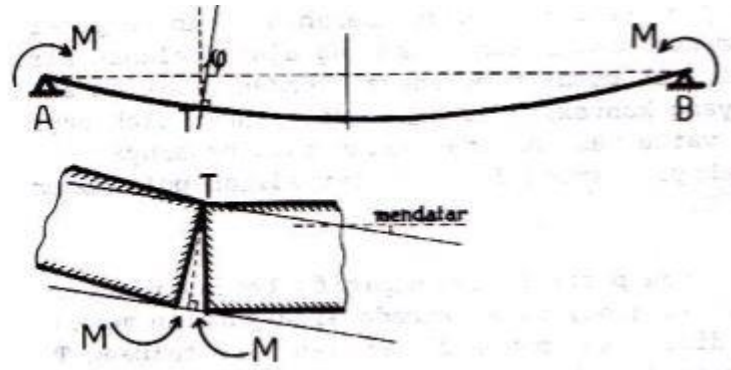
terdapat pada tampang di antara A dan P_2 sebesar $Q = A - P_1 = P_2 - B = 0$ '1.

Gaya lintang negatif (tampang kiri hendak bergeser lepas kebawah teradap yang kanan, sehingga terseret kembali ke atas oleh yang kanan) sebesar P_1 terdapat pada seluruh bagian balok antara A dan P_1 (lihat tampang T_2), sebab resultan gaya di sebelah kiri T_2 bekerja ke bawah, yaitu = P_1 sendiri. Juga resultan gaya di sebelah kanannya (yaitu resultan gaya A, P_2 , dan B) bekerja ke atas dan besarnya = $A + B - P_2 = P_1$ juga.

Begitu pula gaya lintang (pada semua tampang) sepanjang bagian antara P_2 dan B terdapat negatif sebesar B atau $P_1 + P_2 - A = 0$ '2. Jadi untuk menentukan gaya lintang itu. Jika resultan pada sebelah kiri tampang bekerja ke atas atau resultan sebelah kanannya bekerja kebawah, gaya lintang di situ bernilai positif dan nilai mutlaknya sama dengan resultan termasuk (kiri atau kanan sama saja).

2.2.3 Gaya Momen Lentur

Balok lurus AB dilentur oleh momen M yang bekerja pada kedua ujung balok A dan B (GB.2.3). untuk memenuhi syarat keseimbangan tentu saja kedua momen itu harus sama besarnya serta arah kerjanya berlawanan. Keseimbangan luar dicapai dengan perantaraan balok yang semua bagiannya dalam keadaan seimbang Sumbu balok yang semula lurus, sekarang berbentuk garis lengkung, cembung (konvex) ke bawah atau cekung (konkaf) ke atas. Kejadian ini disebut lentur (sumbu balok melentur).



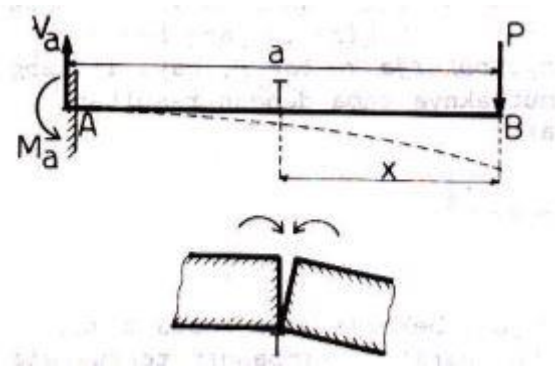
Gambar 2. 3 Gaya Momen Lentur
(Sumber: Statika I, Soemono)

Tampang yang semula \perp sumbu balok tetap demikian, dan oleh karena sumbu ini melentur,ampang itu tidak berdiri vertikal lagi, melainkan serong dengan sudut ϕ . yang disebut tampang berputar sudut.

Balok pada suatu tempat T, ditempat bagian konvex akan terjadi retak, sebab ujung belahan kiri akan berputar ke kanan menurut arah M di A, dan ujung belahan kanan berputar ke kiri mengikuti M di B. Untuk memulihkan keadaan, diperlukan momen yang bekerja pada tiap-tiap ujung bagian dan arah putarnya berlawanan.

Oleh karena bagian AT dan BT seimbang, besar kedua momen itu masing-masing sama dengan M juga. Gaya momen yang bekerja pada ujung belahan itu tergolong gaya dalam, dan dihasilkan oleh tegangan bahan. Tampang T menerima momen lentur luar sebesar M dan menahannya, atau mengimbangnya, secara menghasilkan momen lentur dalam, supaya tetap di dalam keadaan seimbang.

Kekuatan P juga dapat menimbulkan momen lentur pada suatu tampang. Sebatang balok yang terjepit sempurna pada suatu ujungnya, A (Gb). Syarat seimbang luar menuntut adanya reaksi $V_a = P$ ke atas dan $M_a = P_a$ (ke kiri) pada ujung yang terjepit. Menurut keseimbangan luar, \sum momen pada tampang T = 0. Gaya di sebelah kanan T, yaitu

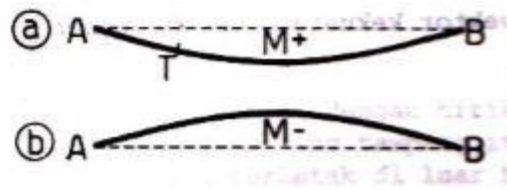


Gambar 2. 4 Tampang Momen Lentur
(Sumber: Statika I, Soemono)

P, menghasilkan momen Px ke kanan. Gaya V_a dan M_a disebelah kiri T menimbulkan momen $V_a(a - x) = P(a - x)$ ke kanan, dan $M = Pa$ ke kiri, yang menghasilkan momen resultan ke kiri sebesar Px .

Balok pada tempat T, ujung belahan kanan berputar ke kanan mengikuti arah momen bagian kanan, sedang ujung belahan kiri berputar ke kiri mengikuti arah putaran momennya. Dengan demikian akan terjadi retak dibagian yang konvex, yang dapat dipulihkan oleh gaya momen pada tampang tadi, yaitu yang masing-masing sama besarnya ($= Px$) dan berlawanan arahnya. Dengan demikian terjadilah pula *momen lentur dalam* pada tempat T.

Momen lentur juga diberi tanda positif atau negatif, berdasar kepada cara melenturnya sumbu balok bukan kepada arah putaran momen. Sebab sebagaimana telah diuraikan, momen disebelah kiri tampang T bekerja ke kiri sedangkan yang disebelah kanan tampang T bekerja ke kanan (dan sama besarnya), sehingga jumlah aljabarnya sama dengan 0. Jadi, arah kerja momen tidak dapat diambil sebagai pedoman. Momen lentur itu positif jika lenturnya bersifat konvex ke bawah, dan negatif apabila konkaf ke bawah. Jadi Gb. 2.5a momen lentur pada semua tampang antara A dan B itu positif, Gb. 2.5b memperlihatkan momen negatif. Nilai momen mutlak harus sama menurut cara manapun yang kita pilih dan tandanya positif atau negatif berdasarkan bentuk lenturan sumbu balok



Gambar 2. 5 Momen Lentur Positif dan Negatif
(Sumber: Statika I, Soemono)

2.3 Pembebanan Struktur

Suatu struktur bangunan bertingkat harus dapat memikul beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut, diantaranya beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi meliputi beban mati dan beban hidup yang membebani struktur, sedangkan yang termasuk beban lateral adalah beban angin dan beban gempa.

Kekuatan semua penampang komponen struktur dari gedung harus direncanakan sesuai dengan kriteria dasar di atas. Struktur dan komponen struktur harus direncanakan hingga semua penampang mempunyai kuat rencana minimum sama dengan kuat perlu, yang dihitung berdasarkan kombinasi beban dan gaya terfaktor.

2.3.1 Beban Mati

Beban mati ialah 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. Beban mati yang diperhitungkan terdiri dari berat sendiri kolom, berat sendiri balok, pelat lantai dan lain-lain. Berdasarkan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (SKBI-1.3.53.1987) berikut merupakan berat sendiri bangunan serta komponen Gedung lainnya yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. 3 Berat Sendiri Bahan Bangunan

Bahan Bangunan	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 (timbel)	11400

Tabel 2. 4 Berat Sendiri Komponen Gedung

Komponen Gedung	Berat (kg/m ²)
Adukan, per cm tebal	
- Dari semen	21
- Dari kapur, semen merah atau tras	17
Aspal, termasuk bahan-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

Komponen Gedung	Berat (kg/m ²)
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m ²	40
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,80 m	7
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m ² bidang atap	50
Penutup atas sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	40
Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa gordeng	10
Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11

2.3.2 Beban Hidup

Beban hidup ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan kedalamnya termasuk beban-beban pada lantai. Berdasarkan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (SKBI-1.3.53.1987) berikut merupakan beban hidup pada lantai Gedung yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. 5 Beban Hidup pada Lantai Gedung

Beban Hidup	Berat (kg/m ²)
a. Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam b	200
	125

Beban Hidup	Berat (kg/m²)
b. Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untu toko, pabrik atau bengkel.	250
c. Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit	400
d. Lantai ruang olahraga	500
e. Lantai ruang dansa	
f. Lantai dan balkon dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan yang lain daripada yang disebut dalam a s/d e, seperti mesjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap.	400
g. Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton yang berdiri	500
h. Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam c	300
i. Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam d, e, f dan g	500
j. Lantai ruang pelengkap dari yang disebut dalam c, d, e, f dan g	250
k. Lantai untuk pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan ruang mesin, harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan tersendiri, dengan minimum	400
l. Lantai gedung parkir bertingkat:	
- Untuk lantai bawah	800
- Untuk lantai tingkat lainnya	400
	300

Beban Hidup	Berat (kg/m²)
m. Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidup dari lantai ruang yang berbatasan, dengan minimum	

2.3.3 Beban Gempa

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

Prosedur analisa dan desain seismik 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 sistem 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.

2.3.3.1 Analisa Beban Gempa Dinamik

Untuk struktur gedung tidak beraturan yang tidak memenuhi ketentuan yang disebut dalam Pasal 4.2.1, pengaruh Gempa Rencana terhadap struktur gedung tersebut harus ditentukan melalui analisis respons dinamik 3 dimensi. Untuk mencegah terjadinya respons struktur gedung terhadap pembebanan gempa yang dominan dalam rotasi, dari hasil analisis vibrasi bebas 3 dimensi, paling tidak gerak ragam pertama (fundamental) harus dominan dalam translasi.

Pada analisis beban dinamik, massa struktur digunakan untuk menghitung gaya – gaya inersia. Pada umumnya massa ditentukan dari elemen menggunakan rapat massa dan volume elemen. Hal ini secara otomatis akan menghasilkan massa kelompok pada joint. Nilai massa untuk semua elemen sama besarnya pada ketiga arah derajat kebebasan translasi. Untuk analisis dinamik, dapat dilakukan tanpa memberikan data momen

inersia massa, tetapi derajat kebebasan rotasi tetap dihasilkan, dan hal ini sudah mencukupi untuk beberapa analisis.

Pada bentuk bidang persegi momen inersia massa terhadap sumbu vertikal (normal bidang gambar) melalui pusat masa dapat dihitung dengan rumus :

$$MMI_{pm} = \frac{M.(b^2+d^2)}{12} \dots\dots\dots (2.3.1)$$

Nilai masa harus diberikan dalam unit (satuan) yang konsisten ialah $\frac{W}{g}$, dan momen inersia massa harus dalam satuan:

$\frac{WL^2}{g}$, dengan W : Berat ; L : Panjang ; g : percepatan gravitasi. Nilai jaringan massa pada tiap *joint* harus sama dengan nol atau positif.

Analisis Gempa Dinamik / Respon Spektrum dapat dihitung dalam eksekusi tunggal oleh program. Setiap kondisi (case) analisis disebut **Spec**, yang dapat diberi nama label yang khas. Masing – masing Spec percepatan *spectra* yang dikerjakan dapat berbeda dan dengan jalan ini hasil dikombinasikan.

Parameter – parameter yang digunakan dalam analisis respon spektrum adalah :

1. Sistem koordinat lokal

Masing – masing Spec mempunyai sistem koordinat lokal yang digunakan untuk menentukan arah beban percepatan tanah. Sumbu – sumbu sistem koordinat lokal diberi notasi 1, 2 dan 3. Untuk kondisi *default*-nya sistem koordinal lokal ini berhubungan dan mengikuti arah sistem koordinal global X,Y dan Z.

2. Fungsi respon spektrum

Fungsi respon spektrum ialah merupakan deretan pasangan bilangan antara periode dan *pseudo-spectral acceleration* (*PSA*) struktur. Beberapa fungsi

dapat didefinisikan dengan masing – masing fungsi diberi label tersendiri dan nilai percepatannya dapat diberi skala.

3. Kurva respon spektrum

Untuk menentukan arah kurva respon spektrum, ditunjukkan dengan hubungan nilai antara *pseudo-spectral acceleration* (*PSA*) dengan periode struktur. Bentuk kurva diberikan dengan menentukan nama fungsi dari respon spektrum. Apabila tidak ada fungsi yang ditentukan, maka nilai pada fungsi unit percepatan diasumsikan konstan.

4. Kombinasi modal

Untuk member arah percepatan, *displacement* maksimum, gaya dan tegangan pada seluruh struktur dihitung untuk setiap mode getaran. Nilai modal ini digunakan untuk menentukan banyaknya respon yang dikombinasi untuk satu hasil.

Dalam perencanaan ini digunakan kombinasi modal dengan metode CQC. Menentukan mode = CQC maksudnya ialah mengkombinasikan hasil modal dengan teknik *Complete Quadratic Combination* (*CQC*) yang dijelaskan oleh Wilson dkk (1981). Teknik ini merupakan metode *default* untuk mengkombinasi modal. Metode CQC digunakan kedalam hitungan perangkat statistik diantara mode ruang tertutup yang disebabkan redaman modal. Rasio redaman CQC, *damp*, dapat ditentukan besarnya sebagai bagian dari redaman kritis dengan nilai $0 < damp < 1$.

5. Arah kombinasi

Masing – masing *displacement*, gaya atau tegangan pada struktur, kombinasi modalnya akan menghasilkan nilai tunggal, positif untuk masing – masing arah percepatan. Besarnya arah untuk menentukan jumlah respon dikombinasikan untuk menghasilkan nilai tunggal dan hasil yang positif. Dengan menggunakan faktor skala kombinasi arah, drif, digunakan untuk menentukan metode yang dipakai.

Pada perencanaan ini digunakan metode SRSS, yaitu dengan menentukan $\text{dirf} = 0$ digunakan untuk mengkombinasikan hasil arah yang tetap mengikuti sistem koordinat, sebagai contoh, hasil arahnya tidak tergantung pada pilihan sistem koordinat apabila kurva respon spektrum yang diberi arah yang sama. Metode ini direkomendasikan untuk arah kombinasi yang sesuai *defaultnya*.

2.3.3.2 Parameter Analisa Beban Gempa Dinamik

Terdapat dua metoda dalam analisa beban gempa dinamik yaitu analisa ragam spektrum respons dan *time history*. Dalam penyusunan tugas akhir ini analisa beban gempa dinamik hanya menggunakan analisa ragam spektrum respons. Parameter-parameter yang harus diperhatikan dalam analisa ragam spektrum respons adalah sebagai berikut:

1. Kategori resiko bangunan

Berdasarkan tabel 2.6 dalam SNI 1726: 2012 berikut merupakan kategori resiko bangunan

Tabel 2. 6 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk kategori resiko I, III dan IV	II
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan	III
	IV

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan non gedung yang ditunjukan sebagai fasilitas yang penting.	
Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk dalam kategori resiko IV	IV

2. Faktor keutamaan gempa

Berdasarkan tabel 2.7 dalam SNI 1726: 2012 berikut merupakan faktor keutamaan gempa:

Tabel 2. 7 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa, Ie
I	1,0
II	1,0
III	1,25
IV	1,50

3. Klasifikasi situs

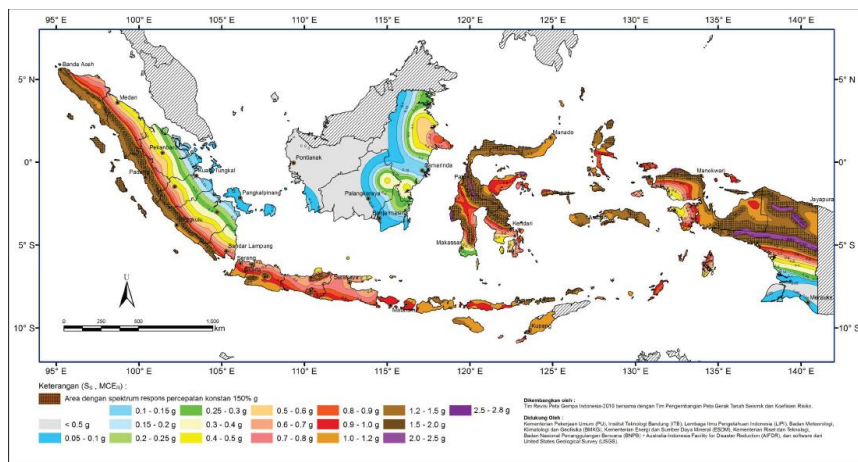
Penentuan klasifikasi situs berguna untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan, profil tanah harus diklasifikasikan sesuai dengan tabel 2.8, berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium. Berdasarkan tabel 3 dalam SNI 1726: 2012 berikut merupakan klasifikasi situs:

Tabel 2. 8 Klasifikasi Situs

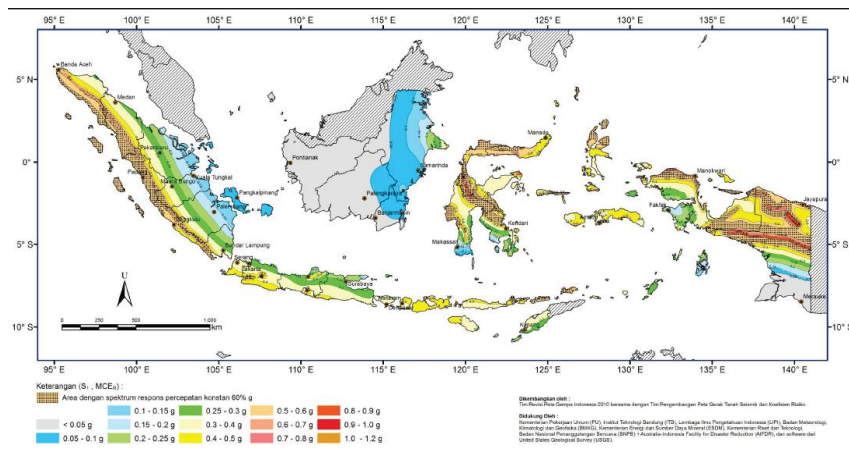
Kelas Situs	$\overline{V}_s(m/s)$	\overline{N} atau \overline{N}_{ch}	$\overline{S}_U(kPa)$
SA (batuan keras)	>1500 m/s	N/A	N/A
SB (batuan)	750 - 1500 m/s	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 – 750 m/s	>50	$\geq 100 \text{ kN/m}^2$
SD (tanah sedang)	175 – 350 m/s	15 – 50	50 – 100 kN/m^2
SE (tanah lunak)	<175 m/s	<15	<50 kN/m^2
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $\overline{S}_u < 25 \text{ kPa}$ 		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisa respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah 2. Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3 \text{ m}$) 3. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5 \text{ m}$ dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35 \text{ m}$ dengan $\overline{S}_u < 50 \text{ kPa}$		

4. Parameter percepatan terpetakan

Parameter percepatan batuan dasar pada perioda pendek (S_s) dan percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCE_R , 2 persen dalam 50 tahun).



Gambar 2. 6 S_s , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Resiko-tertarget (MCE_R)



Gambar 2. 7 S_1 , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Resiko-tertarget (MCE_R)

5. Koefisien situs

Diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda pendek 0,2 detik (F_a) dan perioda 1 detik (F_v) dalam penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R . Koefisien situs F_a dan F_v mengikuti tabel 2.9 dan 2.10.

Tabel 2. 9 Koefisien Situs, F_a

Kelas situs	Parameter respon spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				
Catatan:					
a) Untuk nilai-nilai antara S_s , dapat dilakukan interpolasi linier					
b) SS ^b = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisa respons situs-spesifik, lihat 6.10.1					

Tabel 2. 10 Koefisien Situs, F_y

Kelas situs	Parameter respon spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,25$	$S_1 = 0,5$	$S_1 = 0,75$	$S_1 = 1,0$	$S_1 \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				
Catatan:					
a) Untuk nilai-nilai antara S_1 , dapat dilakukan interpolasi linier					
b) SS ^b = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisa respons situs-spesifik, lihat 6.10.1					

6. Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (MCE_R)

Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$S_{MS} = F_a S_s \dots\dots\dots (2.3.2)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \dots\dots\dots (2.3.3)$$

Di mana:

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan perioda pendek,

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan perioda 1 detik.

7. Parameter percepatan spektral desain

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek (S_{DS}) dan perioda 1 detik (S_{D1}), harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots (2.3.4)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots (2.3.5)$$

8. Kategori desain seismik

Berdasarkan tabel 6 dan 7 dalam SNI 1726: 2012 berikut merupakan kategori desain seismik berdasarkan parameter percepatan spektral desain:

Tabel 2. 11 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Resiko
----------------	-----------------

	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 2. 12 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda 1 Detik

Nilai S_{DS}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

10. Koefisien modifikasi respons (R), faktor pembesaran defleksi (C_d), faktor kuat lebih sistem (Ω_0) dan batasan ketinggian struktur

Berdasarkan tabel 9 dalam SNI 1726: 2012 berikut merupakan faktor-faktor R , Ω_0 , C_d :

Tabel 2. 13 Faktor R , Ω_0 , C_d untuk Sistem Struktur Tahan Gempa

Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0	Faktor pembesaran defleksi, C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
1. Dinding geser beton	6	$2\frac{1}{2}$	5	T	T	4	4	3
				B	B	8	8	0

Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0	Faktor pembesaran defleksi, C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
bertulang khusus								
2. Dinding geser beton bertulang biasa	5	2½	4½	T B	T B	1 0	1 0	TI
Catatan: TB = tidak dibatasi TI = tidak diizinkan								

9. Penentuan perioda fundamental struktur

Perioda fundamental struktur (T) pada arah tinjauan tidak boleh melebihi nilai batas atas yang dihitung berdasarkan koefisien untuk batasan atas pada perioda yang dihitung (C_u) dan perioda fundamental pendekatan (T_a).

Tabel 2. 14 Koefisien untuk Batas Atas pada Perioda yang Dihitung

Parameter percepatan respon spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

10. Periode fundamental pendekatan untuk struktur dinding geser batu bata atau beton diijinkan untuk ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = \frac{0,0062}{\sqrt{C_w}} h_n \dots\dots\dots (2.3.6)$$

C_w dihitung dengan persamaan berikut:

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^x \left(\frac{h_n}{h_i} \right) \frac{A_i}{\left[1 + 0,83 \left(\frac{h_i}{D_i} \right)^2 \right]} \dots\dots\dots (2.3.7)$$

Dengan:

A_B = luas dasar struktur (m^2)

A_i = luas bidag dinding geser (m^2)

D_i = panjang dinding geser (m)

h_i = tinggi dinding geser (m)

h_n = tinggi struktur (m)

x = jumlah dinding geser dalam bangunan yang efektif menahan gaya lateral dalam arah yang ditinjau

2.3.4 Beban Angin

Beban angin adalah beban yang bekerja pada bangunan atau bagiannya karena ada selisih tekanan udara (hembusan angin kencang). Beban angina ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (hisap), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau.

Berikut ini merupakan ketentuan untuk beban angina menurut Pedoman Pembebana untuk Rumah dan Gedung (SKBI-1.3.53.1987) sebagai berikut:

1. Tekanan tiup harus diambil minimal 25 kg/m^2
2. Tekanan tiup ditepi laut dan ditepi laut sampai sejauh 5 km harus diambil 40 kg/m^2

3. Untuk daerah-daerah di dekat laut dan daerah-daerah lain tertentu, dimana terdapat kecepatan-kecepatan angin yang mungkin menghasilkan tekanan tiup yang lebih besar daripada yang ditentukan di atas, tekanan tiup (p) dihitung dengan rumus :

$$p = \frac{v^2}{16} \text{ (kg/m}^2\text{)} \quad (2.3.8)$$

Keterangan:

p = tekanan angin tiup (kg/m^2)

V = kecepatan angin (m/s)

4. Apabila dapat dijamin suatu gedung terlindungi efektif terhadap angin dari suatu jurusan tertentu oleh gedung-gedung lain, hutan-hutan pelindung atau penghalang lain, maka tekanan angin tiup dari jurusan itu dapat dikalikan dengan koefisien reduksi sebesar 0,5.
5. Sedangkan koefisien angin untuk gedung tertutup, ditentukan sebagai berikut:

a. Dinding Vertikal

Dipihak Angin = + 0,9

Dibelakang Angin = - 0,4

Sejajar dengan Arah Angin = - 0,4

b. Atap Segitiga dengan kemiringan α :

Dipihak Angin :

$\alpha < 65^\circ$ = $(0,02 \alpha - 0,4)$

$65^\circ < \alpha < 90^\circ$ = + 0,9

Dibelakang angin, untuk semua, α = - 0,4

2.4 Komponen Elemen Struktur Beton Bertulangan

2.4.1 Rangka Atap dan Struktur Baja

Atap merupakan bagian struktur bangunan yang berfungsi sebagai penutup atau pelindung bangunan dari panas matahari dan hujan sehingga memberikan kenyamanan bagi penggunaan bangunan. Struktur atap terdiri dari penutup atap, gording serta rangka kuda-kuda. Perhitungan gaya-gaya

batang dari rangka atap dapat dianalisis dengan bantuan program *SAP2000* versi 14.0.0. Selanjutnya dapat direncanakan profil dimensi struktur serta sambungan. Untuk persyaratan perencanaan konstruksi baja berpedoman pada Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI 1984). Berikut ini merupakan tahapan perencanaan struktur rangka atap baja.

2.4.1.1 Perencanaan

Perhitungan panjang setiap batang meliputi batang atas, bawah, vertikal serta diagonal.

2.4.1.2 Perencanaan Gording

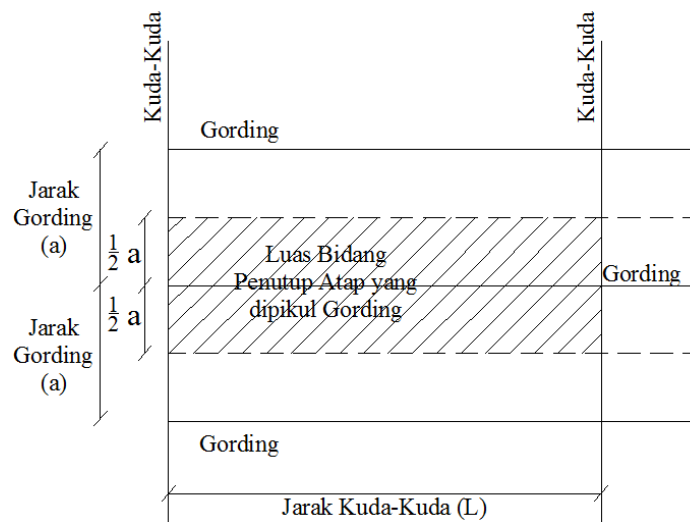
1. Pembebanan

Pembebanan pada gording meliputi:

a. Beban mati (DL)

1) Berat penutup atap:

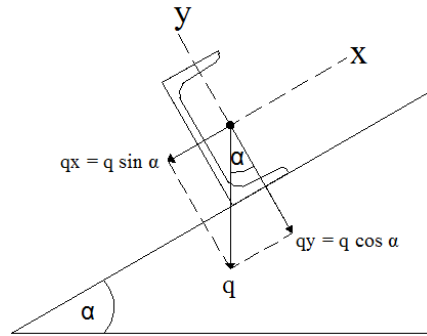
$$= \text{jarak gording} \times \text{berat penutup atap per m}^2 \text{ (kg/m)}$$



Gambar 2. 8 Berat Penutup Atap yang Dipikul Gording

2) Berat Sendiri

Distribusi beban mati pada gording ditampilkan pada Gambar 2.9



Gambar 2. 9 Distribusi Beban Mati pada Gording

$$q_x = q \cdot \sin \alpha \dots\dots\dots(2.4.1)$$

$$q_y = q \cdot \cos \alpha \quad (2.4.2)$$

Keterangan:

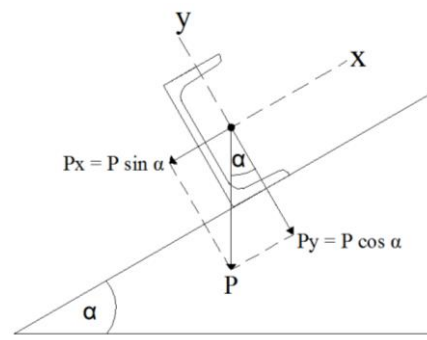
q_x = beban mati arah x (kg/m).

q_y = beban mati arah y (kg/m).

α = sudut kemiringan ($^\circ$).

b. Beban Hidup (LL)

Beban hidup diperhitungkan sebesar $P = 100$ Kg, berdasarkan PPURG 1987. Beban hidup berada ditengah bentang gording, beban ini diperhitungkan jika ada orang yang bekerja di atas gording.



Gambar 2. 10 Beban Hidup yang Bekerja pada Gording

$$P_Lx = P_L \times \sin \alpha \quad (2.4.3)$$

$$P_Ly = P_L \times \cos \alpha \quad (2.4.4)$$

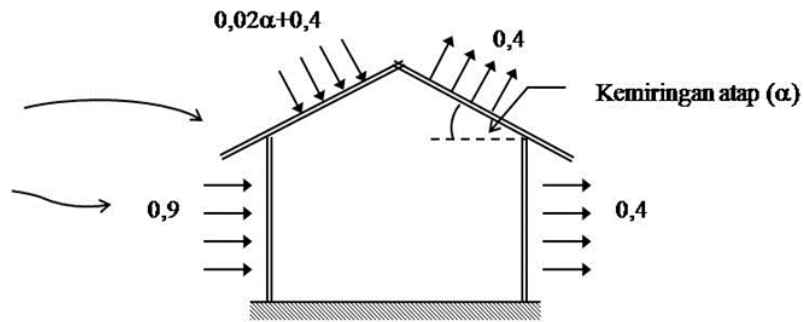
Keterangan:

PL_x = beban hidup arah x (kg).

Ply = beban hidup arah y (kg).

c. Beban Angin (WL)

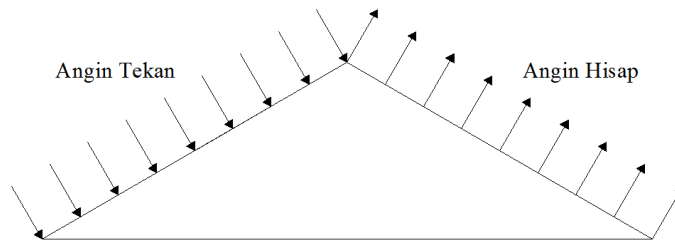
Beban angin diperhitungkan dengan menganggap adanya tekanan positif (tiup) dan tekanan negatif (hisap) yang bekerja tegak lurus pada bidang atap.



Gambar 2. 11 Gaya Angin

Menurut PPURG 1987, tekan tiup harus diambil 25 kg/m^2 . Adapun hal-hal yang berpengaruh terhadap beban angin, yaitu :

- 1) Kemiringan atap = $(\alpha = 30^\circ)$
- 2) Jarak antar gording = (a)
- 3) Lokasi = Kabupaten Tasikmalaya
- 4) Muatan Angin (q) = 25 kg/m^2 (jarak lebih dari 5 km dari pantai)
- 5) Koefisien angin tekan= $(0,02(\alpha) - 0,4)$ (2.4.5)
- 6) Koefisien angin hisap = $(-0,4)$ (2.4.6)
- 7)



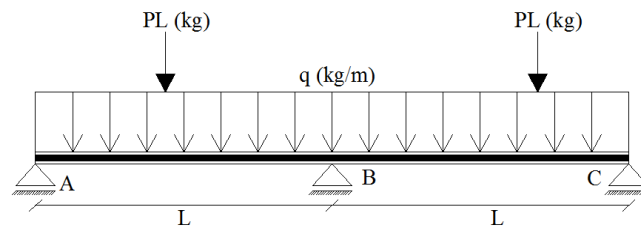
Gambar 2. 12 Arah Angin Tekan dan Angin Hisap

$$8) \text{ Angin tekan (Wt)} = (0,02 \times (\alpha) - 0,4) \times q \times \text{jarak gording} \quad (2.4.7)$$

$$9) \text{ Angin Hisap (Wh)} = (-0,4 \times q \times \text{jarak gording}) \dots \dots \dots (2.4.8)$$

2.4.1.3 Momen Maksimum pada Gording

Gording diletakan di atas beberapa kuda-kuda, sehingga digambarkan sebagai balok menerus. Momen pada gording dapat dihitung dengan menggunakan metode persamaan 3 momen (*clapeyron*).



Gambar 2. 13 Gaya yang Bekerja pada Gording

Dimana, momen pada bentang A-B-C dicari dengan persamaan:

$$M_A \left(\frac{L_1}{I_1} \right) + 2M_B \left(\frac{L_1}{I_1} + \frac{L_2}{I_2} \right) + M_C \left(\frac{L_2}{I_2} \right) = - \frac{6(A_1+A_2) \cdot \alpha_1}{I_1 \cdot L_1} - \frac{6(A_1+A_2) \cdot \alpha_2}{I_2 \cdot L_2} \quad (2.4.9)$$

Berdasarkan persamaan diatas didapat momen maksimum yang terjadi pada gording.

2.4.1.4 Kontrol Tegangan dan Lendutan Terhadap Momen

1. Kontrol Tegangan

Berdasarkan Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia 1984, kontrol Tegangan untuk mutu baja yang telah direncanakan.

$$\bar{\sigma} = \frac{fy}{1,5} \quad (2.4.10)$$

Akibat beban tetap, yaitu beban mati + beban hidup.

$$\sigma = \frac{Mx}{\omega y} + \frac{My}{\omega x} \leq \bar{\sigma} \quad (2.4.11)$$

Beban sementara yaitu akibat beban mati, beban hidup, beban angin, beban hujan, maka besarnya tegangan dasar dapat dinaikan sebesar 30%, berdasarkan PPBBI 1984 Bab 2 pasal 2.2.(8).

$$\sigma = \frac{M_x}{\omega_y} + \frac{M_y}{\omega_x} \leq 1,3 \bar{\sigma} \quad (2.4.12)$$

Keterangan:

σ = tegangan yang bekerja (kg/cm²)

$\bar{\sigma}$ = tegangan ijin maksimal (kg/cm²)

M_x = beban arah x (kgm).

M_y = beban arah y (kgm).

2. Kontrol Lendutan

Menurut PPBBI 1984, secara umum lendutan maksimum akibat beban mati beban hidup yaitu :

$$F < \frac{1}{250} \cdot L \quad (2.4.13)$$

Pada balok yang terletak bebas atas dua tumpuan, L adalah bentang balok tersebut, pada balok menerus atas banyak perletakan, L adalah jarak antara titik-titik beloknya akibat beban mati, sedangkan pada balok kantilever L adalah dua kali panjang kantilevernya. Lendutan yang diijinkan untuk gording (pada arah x terdiri 2 wilayah yang ditahan oleh trakstang)

$$f_x = \frac{5 \cdot q_x \cdot L^4}{348 \cdot E \cdot I_y} + \frac{1 \cdot P_x \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_y} \quad (2.4.14)$$

$$f_y = \frac{5 \cdot q_y \cdot L^4}{348 \cdot E \cdot I_x} + \frac{1 \cdot P_y \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_x} \quad (2.4.15)$$

Keterangan:

f_x = lendutan arah x (cm).

f_y = lendutan arah y (cm)

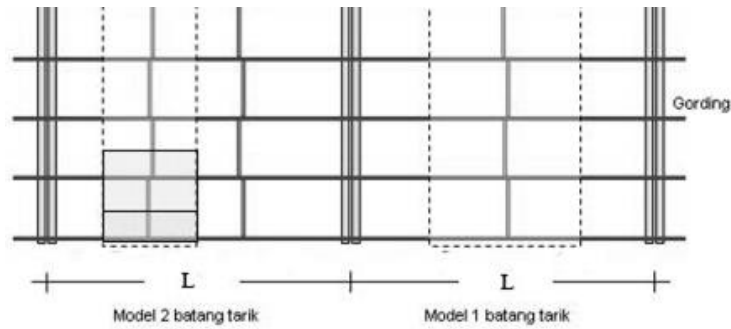
E = modulus elastisitas (MPa).

I_x = momen inersia penampang x (cm⁴).

I_y = momen inersia penampang y (cm⁴).

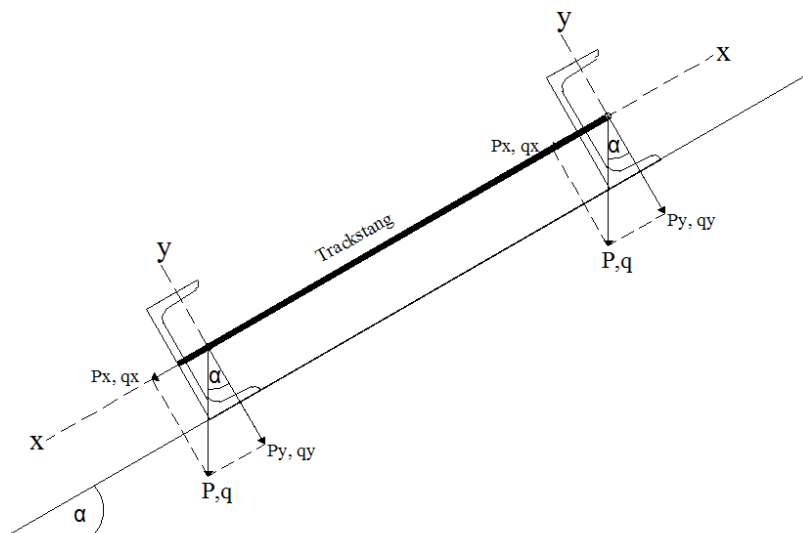
2.4.1.5 Perencanaan Batang Tarik (Trackstang)

Batang tarik (*trackstang*) atau dikenal dengan sagrod berfungsi untuk mengurangi lendutan gording pada arah sumbu x (miring atap) sekaligus untuk tegangan lendutan yang timbul pada arah x.



Gambar 2. 14 Pemodelan Batang Tarik (*Trackstang*)

Beban-besan yang dipikul oleh trekstang yaitu sejajar bidang atap (sumbu x), maka gaya yang bekerja adalah gaya tarik G_x dan P_x .



Gambar 2. 15 Rencana Batang Tarik (*Trackstang*)

G_x = berat sendiri gording + penutup atap sepanjang sumbu x

P_x = beban hidup arah sumbu x

$$P \text{ Total} = G_x + P_x = (q_x \cdot L) + P_x \quad (2.4.16)$$

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

$$P = \frac{P_{total}}{2} = \frac{(q_x \cdot L) + P_x}{2} \dots\dots\dots(2.4.17)$$

$$\sigma = \frac{P}{F_n} \leq \bar{\sigma} \quad (2.4.18)$$

$$F_n = \frac{P}{\sigma} \quad (2.4.19)$$

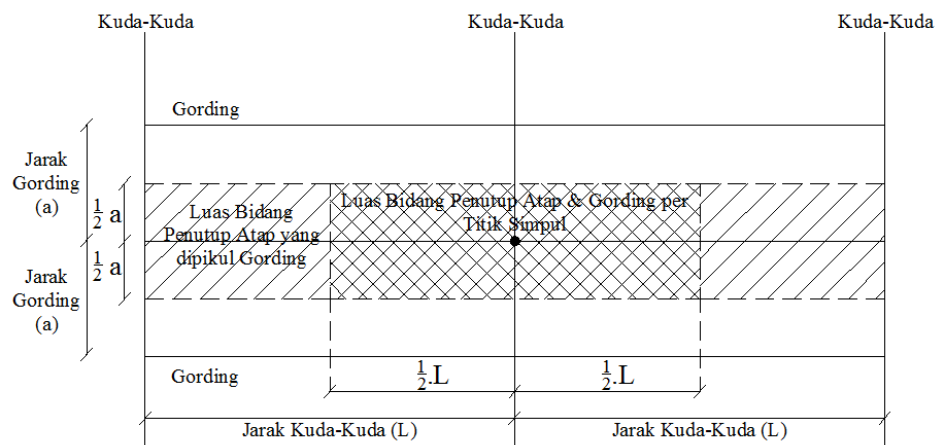
Keterangan:

- P = beban hidup
 q_x = beban mati arah x
 L = lebar bentang
 F_n = gaya yang terjadi
 σ = tegangan yang bekerja
 $\bar{\sigma}$ = tegangan ijin

2.4.1.6 Pembebanan Kuda-Kuda

1. Beban Mati (q_D)

Beban mati terdiri dari beban pada gording dikalikan dengan jarak antar kuda-kuda. Diasumsikan bekerja vertikal pada tiap titik simpul batang tepi atas.



Gambar 2. 16 Beban Mati pada Kuda-kuda

2. Beban Hidup

Beban hidup diperhitungkan sebesar $P = 100$ kg, sesuai PPURG 1987.

3. Beban Angin

$$a. \text{ Angin Tekan (W)} = (0,02 \cdot \alpha - 0,4) \cdot q$$

Beban angin per joint:

$$P = W \times \text{jarak gording} \times \text{jarak kuda-kuda}$$

Distribusi beban angin terhadap arah horizontal (x) dan vertikal (y)

$$\text{yaitu: } W_{tx} = p \sin \alpha \quad (2.4.20)$$

$$W_{ty} = p \cos \alpha \quad (2.4.21)$$

b. Angin Hisap (W) = $(-0,4) \cdot q$

Beban angin per joint:

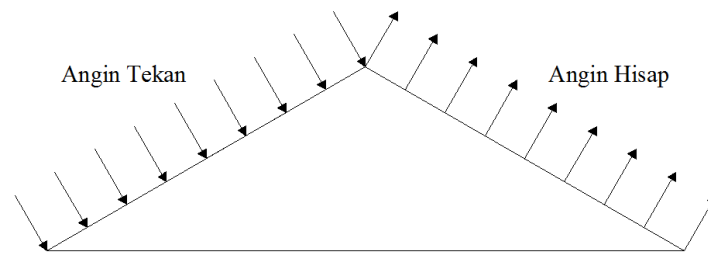
$$P = W \times \text{jarak gording} \times \text{jarak kuda-kuda}$$

Sementara itu, distribusi beban angin terhadap arah horizontal (x) dan vertikal (y) yaitu sebagai berikut:

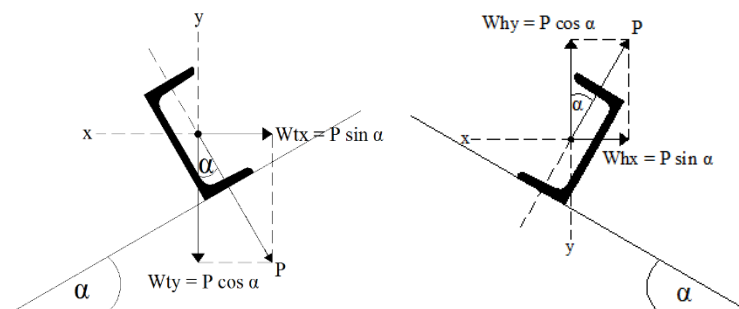
$$W_{hx} = P \sin \alpha \quad (2.4.22)$$

$$W_{hy} = P \cos \alpha \quad (2.4.23)$$

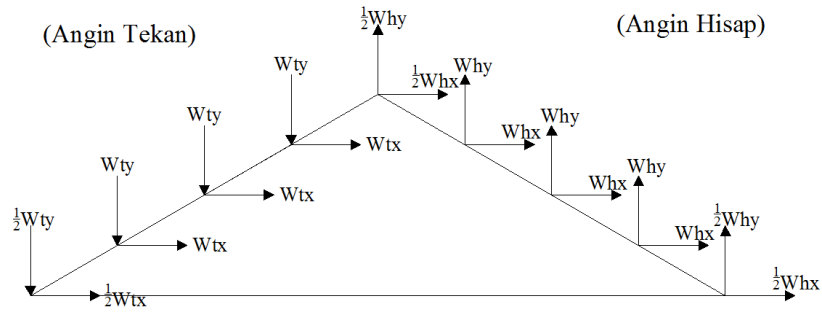
Beban Angin Kiri



Gambar 2. 17 Arah Beban Angin Kiri

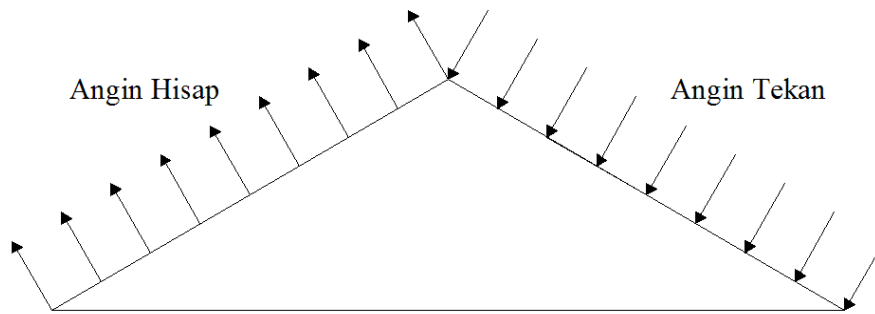


Gambar 2. 18 Distribusi Agin Tekan dan Angin Hisap pada Beban Angin Kiri

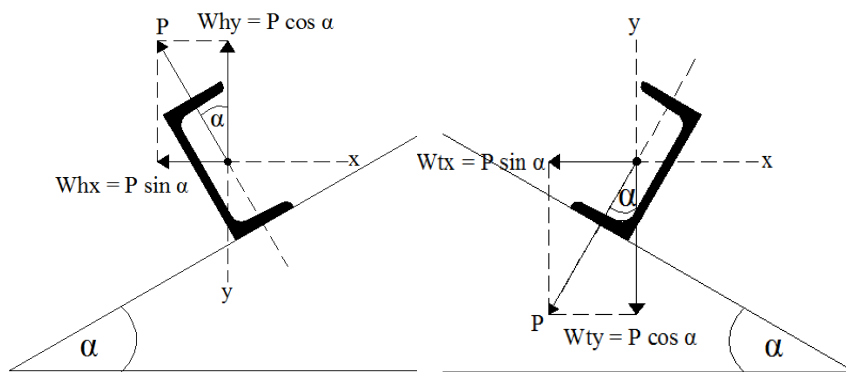


Gambar 2. 19 Beban Angin Kiri

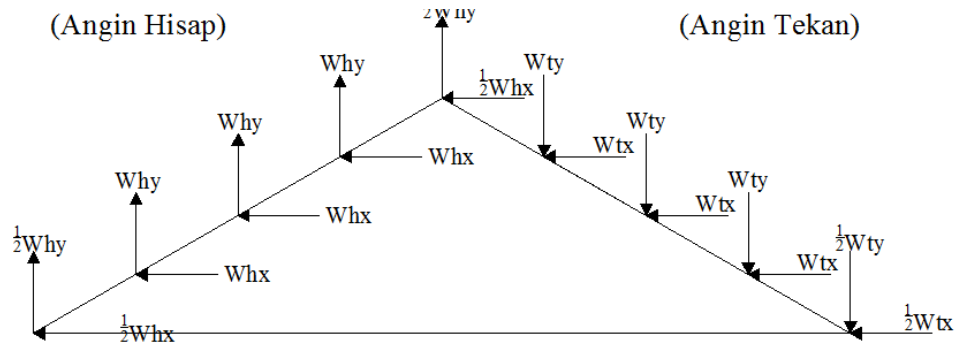
Beban Angin Kanan



Gambar 2. 20 Arah Beban Angin Kanan



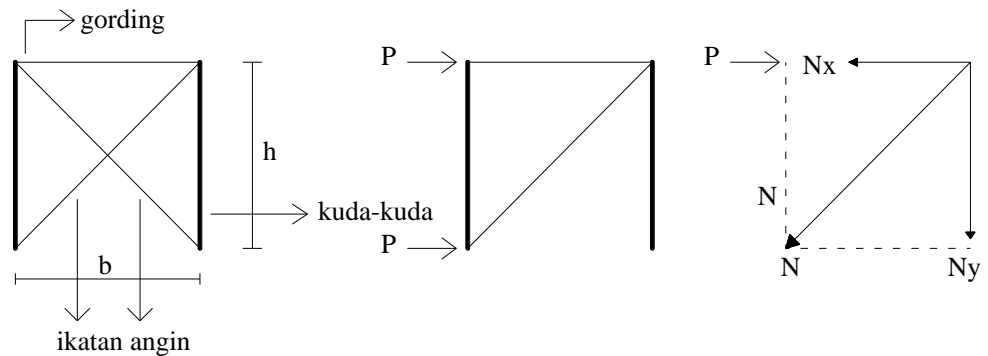
Gambar 2. 21 Distribusi Angin Tekan dan Angin Hisap pada Beban Angin Kanan



Gambar 2. 22 Beban Angin Kanan

2.4.1.7 Ikatan Angin

Ikatan angin (*bracing*) hanya bekerja menahan gaya normal (*axial*). 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. 23 Pembebanan Ikaatan Angin

$$\beta = \text{arc tg} \left(\frac{\text{panjang sisi miring}}{\text{jarak kuda-kuda}} \right) \quad (2.4.24)$$

$$\sum H = 0 \rightarrow N_x = P$$

$$N \cos \beta = P \dots\dots\dots (2.4.25)$$

$$N = P / \cos \beta \dots\dots\dots (2.4.26)$$

$$F_n = N / \bar{\sigma} \dots\dots\dots (2.4.27)$$

$$Fbr = 125\% \times Fn \dots\dots\dots (2.4.28)$$

$$Fbr = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (2.4.29)$$

$$d = \sqrt{\frac{\frac{1}{4} \cdot Fbr}{\pi}} \dots\dots\dots (2.4.30)$$

2.4.1.8 Perencanaan Profil Kuda-Kuda

1. Batang Tarik

Berdasarkan Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI) 1984 Bab 3 pasal 3 terdapat ketentuan mengenai batang tarik, yaitu:

- a. Tegangan rata-rata pada suatu penampang yang melalui lubang sari suatu batang tarik, tidak boleh lebih besar dari 0,75 kali tegangan dasar.
- b. Kelangsingan (λ_{maks}) batang tarik baja profil untuk konstruksi utama harus lebih kecil dari 240.
- c. Sementara dalam suatu potongan jumlah luas lubang sambungan tidak boleh lebih besar dari 15% luas penampang bersih.

2. Batang Tekan

Berdasarkan Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia 1984 bab 4 dijelaskan mengenai batang tekan. Dimana harus direncanakan sedemikian rupa sehingga terjamin stabilitasnya, dan aman terhadap bahaya tekuk. Hal ini diperlihatkan dengan menggunakan persamaan:

$$\omega \cdot \frac{N}{A} \leq \bar{\sigma} \quad (2.4.31)$$

Keterangan:

N = gaya tekan pada batang

A = luas penampang batang

$\bar{\sigma}$ = tegangan dasar

ω = faktor tekuk

Harga ω dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\lambda_g = \pi \sqrt{\frac{E}{0,7 \cdot \sigma_{leleh}}} \dots\dots\dots (2.4.32)$$

$$\lambda_s = \frac{\lambda}{\lambda_g} \dots\dots\dots (2.4.33)$$

Untuk:

$$\lambda_s \leq 0,183 \rightarrow \text{maka } \omega = 1 \dots \dots \dots (2.4.34)$$

$$0,183 < \lambda_s < 1 \rightarrow \text{maka } \omega = \frac{1,41}{1,593 - \lambda_s} \dots \dots \dots (2.4.35)$$

$$\lambda_s \geq 1 \rightarrow \text{maka } \omega = 2,381 \lambda_s^2 \dots \dots \dots (2.4.36)$$

Kelangsingan pada batang harus dicari dengan persamaan:

$$\lambda = \frac{lk}{i} \dots \dots \dots (2.4.37)$$

Dimana:

Lk = panjang tekuk batang

i = jari-jari girasi

2.4.1.9 Pelat Kopel dan Pelat Sambungan

Berdasarkan Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia 1984, pelat-pelat kopel membagi batang tersusun menjadi beberapa bagian yang sama panjang atau dapat dianggap sama panjang. Banyaknya pembagian batang minimum adalah 3. Kemudian hubungan antara pelat kopel dengan elemen batang tekan harus kaku, sehingga memenuhi persamaan:

$$\frac{I_p}{a} \geq 10 \frac{I_1}{L_1} \dots \dots \dots (2.4.38)$$

Dimana:

I_p = momen kelembaman pelat kopel. $= \frac{1}{12} \cdot t \cdot h^3$

I_1 = momen kelembaman elemen batang tunggal terhadap sumbu minimum dari elemen batang.

a = jarak sumbu elemen-elemen tersusun.

Sementara itu, pelat buhul merupakan pelat sambungan memakai pelat baja, yang berfungsi menyatukan elemen-elemen dari struktur rangka batang (*truss*). Biasanya pelat buhul 6 mm – 2 cm. Untuk tebal pelat buhul biasanya \geq tebal pelat profil batang.

2.4.1.10 Perencanaan Sambungan

Sambungan direncanakan sesuai dengan beban-beban kerja pada batang-batang yang disambung. 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 berikut berdasarkan Peraturan Pembebanan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI) 1984 pasal 8.2 yaitu:

1. Tegangan geser baut

$$\bar{\sigma}_{gs} = 0,6 \bar{\sigma} \dots \dots \dots (2.4.39)$$

2. Tegangan tarik baut

$$\bar{\sigma}_{tr} = 0,7 \bar{\sigma} \dots \dots \dots (2.4.40)$$

3. Tegangan tumpu/desak

$$\bar{\sigma}_{tu} = 1,5 \bar{\sigma} \rightarrow S_1 \geq 2d \dots \dots \dots (2.4.41)$$

$$\bar{\sigma}_{tu} = 1,2 \bar{\sigma} \rightarrow 1,5d \leq S_1 < 2d \dots \dots \dots (2.4.42)$$

4. Menentukan kekuatan satu baut

$$N_{gs} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \sigma_{gs} \dots \dots \dots (2.4.43)$$

$$N_{tp} = t \times d \times \bar{\sigma}_{tu} \dots \dots \dots (2.4.44)$$

5. Jumlah baut yang dibutuhkan

$$n = \frac{N}{N'} \dots \dots \dots (2.4.45)$$

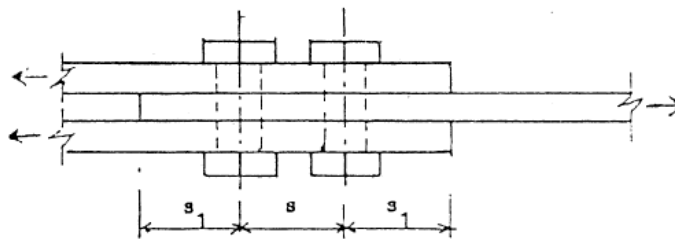
Keterangan:

s = jarak dari sumbu baut yang paling luar ke tepi bagian yang disambung (mm).

d = diameter baut (mm).

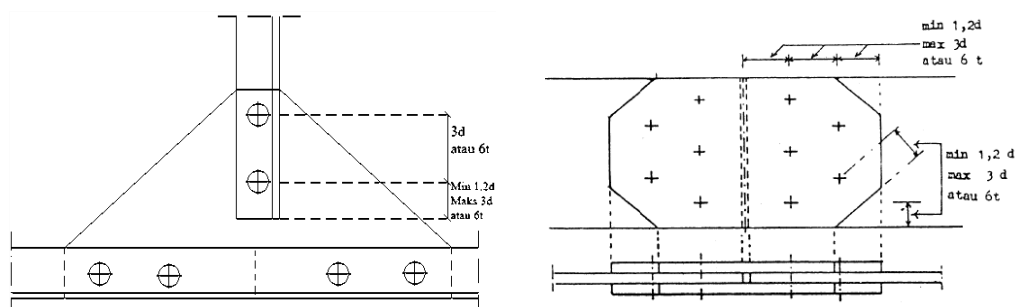
$\bar{\sigma}$ = tegangan dasar (kg/cm²).

6. Banyaknya baut yang dipasang pada satu baris yang sejajar arah gaya tidak boleh lebih dari 5 buah.



Gambar 2. 24 Letak Sambungan

7. Jarak antara sumbu baut paling luar ke tepi atau ke ujung bagian yang disambung, tidak boleh kurang dari $1,2 d$ dan tidak boleh lebih besar dari $3 d$ atau $6 d$. Dimana t merupakan tebal terkecil bagian yang disambungkan.



Gambar 2. 25 Geometri Penempatan Baut

8. Pada sambungan yang terdiri dari satu baris baut, jarak dari sumbu ke sumbu dari 2 baut yang berurutan tidak boleh kurang dari $2,4 d$ dan tidak boleh lebih dari $7 d$ atau $14 t$.

2.4.1.11 Perencanaan Struktur Baja Menggunakan SAP2000

Adapun tahapan analisis gaya batang pada rangka atap baja menggunakan program *SAP2000 versi 15.0.1* sebagai berikut:

1. Menggambar model atap dengan model *2D trusses* dengan tumpuan sendi-rol serta panjang batang sesuai perhitungan.
2. Mendefinisikan beban yang bekerja pada atap.
3. Masukkan beban yang bekerja, seperti beban mati, beban hidup, beban angin kanan dan beban angin kiri.
4. *Run analysis*, untuk mendapat gaya dalam pada setiap batang.

5. Cek dimensi profil batang hasil perhitungan batang tarik dan batang tekan.

2.4.2 Pelat Lantai

lantai atau *slab* merupakan suatu konstruksi yang menumpang pada balok, dan direncanakan mampu menahan beban mati dan beban hidup pada waktu pelaksanaan konstruksi maupun pada saat gedung sudah digunakan. Pelat menerima beban yang bekerja tegak lurus terhadap permukaan pelat. Berdasarkan kemampuannya untuk menyalurkan gaya akibat beban, pelat dibedakan menjadi 2 yaitu:

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. Suatu pelat dikatakan satu arah jika $\frac{L_y}{L_x} \geq 2$. Dimana L_y merupakan sisi terpanjang, dan L_x merupakan sisi terpendek dari pelat.

Menurut SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.2 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.

2. Pelat dua arah

Menurut SNI 2847:2013 pada pasal 13 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. Pelat lantai yang dirancang adalah pelat lantai dua arah yang didukung pada keempat sisinya. Adapun syarat tebal pelat minimum menurut SNI – 2847-2013 pasal 9.5.3.3 adalah sebagai berikut:

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

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

$$h = \frac{\ell_n \left[0,8 + \frac{f_y}{1400} \right]}{36 + 5, \beta \cdot (\alpha_m - 0,2)} \dots \dots \dots (2.4.46)$$

dan tidak boleh kurang dari 120 mm

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

$$h = \frac{\ell_n \left[0,8 - \frac{f_y}{1400} \right]}{36 - 9, \beta} \dots \dots \dots (2.4.47)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

Keterangan:

h = tebal pelat minimum (cm).

f_y = tulangan leleh baja tulangan (MPa).

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

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

β = rasio bentang bersih dalam suatu arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah. $\beta = \ln y / \ln x$.

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.

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

$$\alpha = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cp} \cdot I_p} \dots \dots \dots (2.4.48)$$

Keterangan:

E_{cb} = modulus elastisitas balok beton.

E_{cp} = modulus elastisitas pelat beton.

I_b = momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok.

I_p = momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat.

e. Beban yang bekerja pada pelat.

$$q_U = 1,2 \cdot q_D + 1,6 \cdot q_L \dots \dots \dots (2.4.49)$$

Keterangan:

q_U = beban ultimit.

q_D = beban mati pelat.

q_L = beban hidup pelat.

f. Mencari tebal efektif pelat

Untuk menentukan tinggi efektif pelat ditinjau dari dua arah yaitu:

Arah x dx = tebal pelat – selimut beton – 1/2. Ø tulangan arah x

Arah y dy = tebal pelat – selimut beton – 1/2. Ø tulangan arah y

g. Mencari momen yang bekerja pada arah sumbu x dan y, dengan bantuan tabel momen Marcus.

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

Keterangan : = Terletak bebas
 = Terjepit penuh

Gambar 2. 26 Momen Pelat yang Menumpu pada Keempat tepinya Akbiat Beban Terbagi Rata

h. Mencari nilai koefisien tahanan (K)

$$K = \frac{Mn}{b.d^2} = \frac{Mu}{\phi.b.d^2} \dots \dots \dots (2.4.50)$$

Keterangan:

K = koefisien tahanan

M = momen yang ditinjau

b = lebar per meter pelat

a = tinggi efektif pelat

Dalam perhitungan tulangan dibutuhkan faktor momen pikul maksimal (K_{maks}). Nilai K_{maks} dapat ditentukan berdasarkan mutu beton ($f'c$) serta mutu baja tulangan (fy).

Tabel 2. 15 Faktor Momen Pikul Maksimal (K_{maks}) dalam MPa

Mutu beton $f'c$ (MPa)	Mutu Baja Tulangan fy (MPa)					
	240	300	350	400	450	500
15	4.4839	4.2673	4.1001	3.9442	3.7987	3.6627
20	5.9786	5.6897	5.4668	5.2569	5.0649	4.8836
25	7.4732	7.1121	6.8335	6.5736	6.3311	6.1045
30	8.9679	8.5345	8.2002	7.8883	7.5973	7.3254
35	10.1445	9.6442	9.2595	8.9016	8.5682	8.2573
40	11.2283	10.6639	10.2313	9.8296	9.4563	9.1087
45	12.1948	11.5704	11.0930	10.6509	10.2407	9.8593
50	13.0485	12.3683	11.8497	11.3705	10.9266	10.5145
55	13.7846	13.0535	12.4977	11.9850	11.5109	11.0716
60	14.6670	13.8816	13.2853	12.7358	12.2283	11.7583

(Sumber : Buku Balok dan Pelat Beton Bertulang, Ali Asroni)

i. Penulangan pelat

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.K}{0,85.f'c}} \right) \cdot d \dots\dots\dots(2.4.51)$$

Dipilih luas tulangan pokok dengan memilih nilai yang besar berikut :

$$A_{s,u} = \frac{0,85.f'c.a.b}{f_y} \dots\dots\dots(2.4.52)$$

Jika $f'c \leq 31,36MPa$, maka $A_{s,u} = \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots(2.4.53)$

Jika $f'c \geq 31,36MPa$, maka $A_{s,u} = \frac{\sqrt{f'c}}{4f_y} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots(2.4.54)$

Dihitung jarak tulangan (s) untuk tulangan pokok pelat 2 arah:

$$s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_{s,u}} \dots\dots\dots(2.4.55)$$

$$s \leq 2.h \text{ dan } s \leq 450 \text{ mm} \dots\dots\dots(2.4.56)$$

Tulangan Bagi/ tulangan susut dan suhu:

$$f_y \leq 300 \text{ MPa, } A_{s,b} = 0,002 \cdot b \cdot h \dots\dots\dots(2.4.57)$$

$$f_y = 400 \text{ MPa, } A_{s,b} = 0,0018 \cdot b \cdot h \dots\dots\dots(2.4.58)$$

$$f_y > 400 \text{ MPa, } A_{s,b} = 0,0018 \cdot b \cdot h (400/f_y) \dots\dots\dots(2.4.59)$$

$$A_{s,b} \geq 0,0014 \cdot b \cdot h \dots\dots\dots(2.4.60)$$

$A_{s,b}$ = luas tulangan bagi (mm^2)

Jarak tulangan bagi :

$$s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_{s,u}} \dots\dots\dots(2.4.61)$$

$$s \leq 5.h, s \leq 450 \text{ mm} \dots\dots\dots(2.4.62)$$

Pengecekan tulangan :

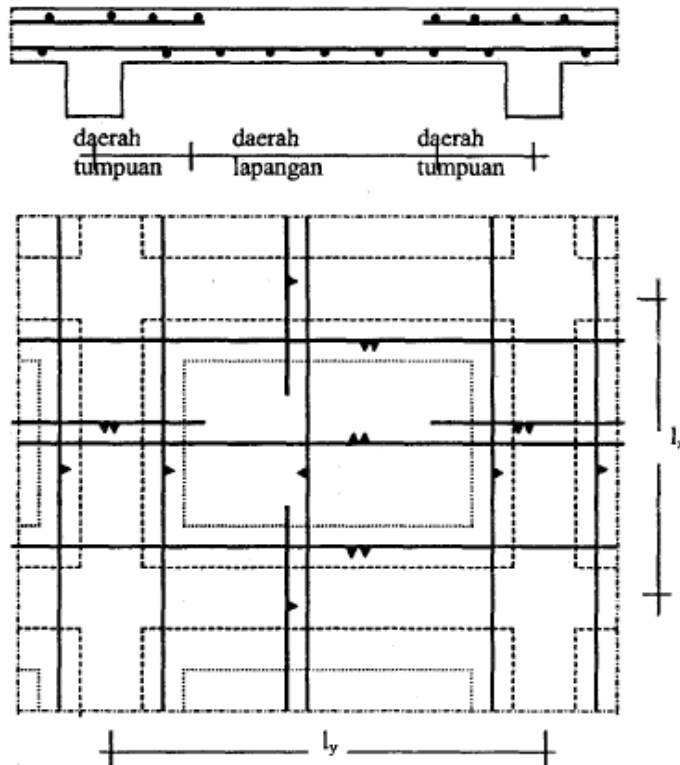
$$A_{s,tul} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot s}{s} \text{mm}^2 \dots\dots\dots(2.4.63)$$

$$A_{s,tul} \geq A_{s,u} \dots\dots\dots(2.4.64)$$

Keterangan:

$A_{s,tul}$ = luas tulangan pakai (mm^2).

$A_{s,u}$ = luas tulangan perlu (mm^2).



Gambar 2. 27 Contoh Penulangan Pelat Lantai 2 Arah
(Sumber : Balok dan Pelat Beton Bertulang, Ali Asroni)

2.4.3 Balok

Balok adalah komponen struktur yang berfungsi memikul beban lantai dan beban lainnya yang bekerja di atasnya dan kemudian menyalurkan beban tersebut ke kolom. Untuk desain awal (*preliminary design*) penampang balok ditentukan sesuai persyaratan SNI-2847-2013 pada Tabel 2.16.

Tabel 2. 16 Tebal Minimum Balok Non-Prategang atau Pelat Satu Arah Bila Lendutan Tidak Dihitung

Tebal minimum, h				
Komponen struktur	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever

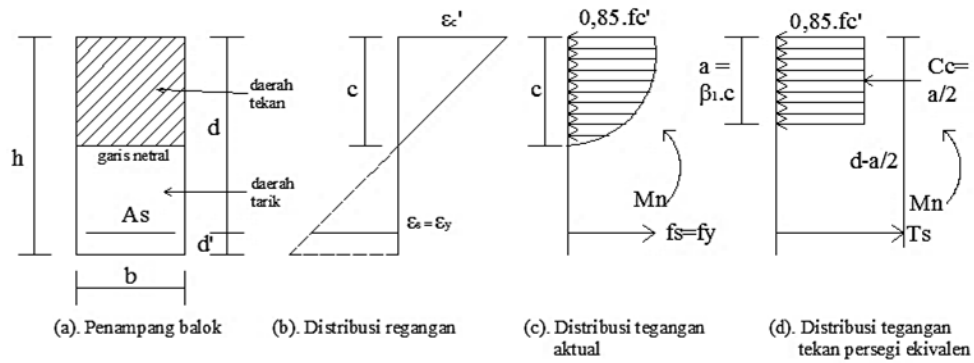
Tebal minimum, h				
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu-arah	1/20	1/24	1/28	1/10
Balok atau pelat rusuk satu-arah	1/16	2/18,5	1/21	1/8
<p><u>Catatan :</u></p> <p>Panjang bentang dalam mm.</p> <p>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 :</p> <p>a. Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (<i>equilibrium density</i>), 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.</p> <p>b. Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$.</p>				

Sedangkan pemilihan lebar balok (b) diambil tidak boleh kurang dari sama dengan $h/2$. Untuk f_y selain 400 MPa harus dikalikan dengan $(0,4 + \frac{f_y}{700})$.

Kolom

2.4.3.1 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 2.28.



Gambar 2. 28 Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok Tunggal

(Sumber : Balok dan Pelat Beton Bertulang, Ali Asroni)

Keterangan Gambar 2.28:

- a = tinggi balok tegangan beton tekan persegi ekuivalen (mm).
- a = $\beta_1 \cdot c$ (2.4.65)
- A_s = luas tulangan tarik (mm^2)
- 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 (mpa).
- f_s = $\epsilon_s \cdot E_s$ (2.4.66)

- 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 10.2.7.3 sni 2847 – 2013 pasal 10.2. 7. 3)

Untuk $f'_c \leq 28$ MPa, maka $\beta_1 = 0,85$

Untuk $28 \text{ MPa} < f'_c < 56 \text{ MPa}$, maka $\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 \cdot (f'_c - 28)}{7}$

Jika $f'_c > 56$ MPa maka $\beta_1 = 0,65$

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

$$\epsilon_c' = \frac{a}{\beta_1 \cdot d - a} \cdot \epsilon_y \dots \dots \dots (2.4.67)$$

ϵ_s = regangan tarik baja tulangan.

ϵ_s' = regangan tekan baja tulangan.

$$\epsilon_s' = \frac{a - \beta_1 \cdot d_s'}{a} \cdot 0,003 \dots \dots \dots (2.4.68)$$

ϵ_y = regangan tarik baja tulangan pada saat leleh.

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{f_y}{200000} \dots \dots \dots (2.4.69)$$

Berdasarkan SNI 2847 -2013 pasal 10.2.6, 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.

1. Gaya tekan beton

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

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \dots\dots\dots (2.4.70)$$

2. 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:

$$T_s = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots (2.4.71)$$

3. 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 :

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y} \dots\dots\dots (2.4.72)$$

Momen nominal dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$M_n = C_c \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \text{ atau } M_n = T_s \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots (2.4.73)$$

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

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} \rightarrow A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b}{f_y}, \text{ sehingga } \beta_1 \cdot c = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}$$

$$M_u = T_s \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot c}{2} \right)$$

$$M_u = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - 0,5 \cdot \beta_1 \cdot c \right)$$

$$M_u = \rho \cdot b \cdot d \cdot f_y \cdot \left(d - 0,5 \cdot \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \right)$$

$$M_u = \rho \cdot b \cdot d^2 \cdot f_y \cdot \left(1 - 0,59 \cdot \frac{f_y}{f'_c} \cdot \rho \right)$$

$$b.d^2 = \frac{Mu}{\rho \cdot fy(1 - 0,59 \cdot \frac{fy}{fc} \cdot \rho)}$$

maka, $\rho \cdot fy(1 - 0,59 \cdot \frac{fy}{fc} \cdot \rho)$ dapat dinotasikan sebagai K atau faktor momen pikul maksimum, sehingga : $b.d^2 = \frac{Mu}{K}$

$$K = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \text{ atau } K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \dots \dots \dots (2.4.74)$$

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

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f'c}} \right) \cdot d \dots \dots \dots (2.4.75)$$

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

$$\epsilon_c' = \frac{a}{\beta_1 \cdot d - a} \cdot \epsilon_y \dots \dots \dots (2.4.76)$$

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

- a. Momen rencana M_r harus \geq momen perlu M_u . Jika lebih maka dibutuhkan tambahan tulangan tekan atau tulangan rangkap.
- 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:

$$a = \frac{A_s \cdot fy}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots \dots \dots (2.4.77)$$

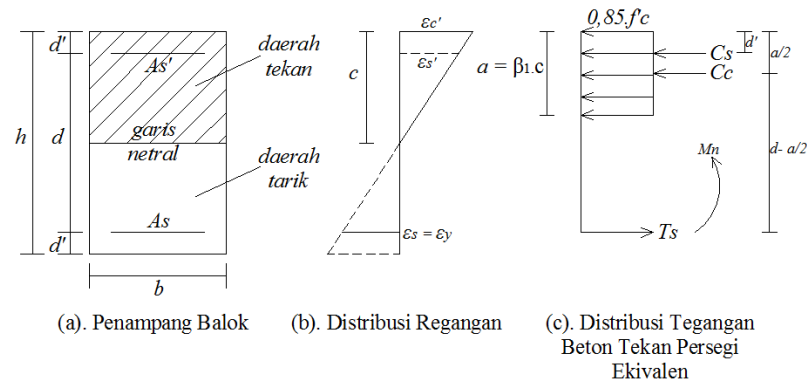
- b. Moment rencana dihitung dengan persamaan:

$$M_r = \phi \cdot M_n, \text{ dengan } \phi = 0,9 \dots \dots \dots (2.4.78)$$

2.4.3.2 Balok Persegi Panjang dengan Tulangan Rangkap

Balok beton bertulangan rangkap adalah 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. 29 Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok Tulangan Rangkap
(Sumber : Balok dan Pelat Beton Bertulang, Ali Asroni)

Keterangan notasi pada Gambar 2.29.

a : tinggi balok tegangan beton tekan persegi ekuivalen (mm).

$$a = \beta_1 \cdot c \dots \dots \dots (2.4.79)$$

A_s : luas tulangan tarik (mm^2).

A_s' : luas tulangan tekan (mm^2).

b : lebar penampang balok (mm).

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

C_c : gaya tekan beton (kN).

C_s : gaya tekan baja tulangan (kN).

d : tinggi efektif penampang balok (mm).

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

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

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

$f'c$: tegangan tekan beton yang disyaratkan pada umur 28 hari (Mpa).

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

$$fs = \varepsilon_s \cdot E_s \dots \dots \dots (2.4.80)$$

fs' : tegangan tekan baja tulangan = $\varepsilon_s' \cdot E_s$, (Mpa).

fy : 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 10.2.7.3 SNI 03 – 2847 – 2013).

Untuk $f'c \leq 28$ MPa, maka $\beta_1 = 0,85$

Untuk $28 \text{ MPa} < f'c < 56$ Mpa, maka $\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 \cdot (f'c - 28)}{7}$

Jika $f'c > 56$ MPa maka $\beta_1 = 0,65$

ε_c' : regangan tekan beton, dengan ε_c' maksimal = 0,003

ε_s : regangan tarik baja tulangan.

ε_s' : regangan tekan baja tulangan.

ε_y : regangan tarik baja tulangan pada saat leleh

$$\varepsilon_y = \frac{fy}{E_s} = \frac{fy}{200000} \dots \dots \dots (2.4.81)$$

Pada perencanaan beton bertulang, regangan tulangan tarik selalu diperhitungkan sudah leleh, yaitu $\varepsilon_s = \varepsilon_y$. Sedangkan untuk tulangan tekan, regangan tulangan tekan (ε_s') belum leleh. Nilai regangan tulangan tekan (ε_s') dapat dihitung dari distribusi regangan dengan menggunakan perbandingan segitiga, dengan penjabaran rumus sebagai berikut:

$$\frac{c}{\varepsilon_{cu'}} = \frac{c-d'}{\varepsilon_s'}, \text{ sehingga } \varepsilon_s' = \frac{c-d'}{c} \cdot \varepsilon_{cu'} \dots\dots\dots (2.4.82)$$

Dengan memasukkan nilai $a = \beta_1 \cdot c$ atau $c = a / \beta_1$ dan regangan batas tekan beton $\varepsilon_{cu}' = 0,003$, maka diperoleh:

$$\varepsilon_s' = \frac{a-\beta_1 \cdot d_s'}{a} \cdot 0,003 \dots\dots\dots (2.4.83)$$

Tegangan tekan baja tulangan f_s' dihitung dengan rumus berikut, dengan modulus elastisitas (E_s) = 200000 MPa.

$$f_s' = \frac{a-\beta_1 \cdot d_s'}{a} \cdot 600 \text{ dengan ketentuan } f_s' \geq 0 \dots\dots\dots (2.4.84)$$

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

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

$$a = \frac{(A_s - A_s') \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots (2.4.85)$$

Nilai momen nominal :

$$M_n = M_{nc} + M_{ns} \dots\dots\dots (2.4.86)$$

$$M_{nc} = C_c \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right), \text{ dengan } C_c = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \dots\dots\dots (2.4.87)$$

$$M_{ns} = C_s \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right), \text{ dengan } C_s = A_s' \cdot f_s' \dots\dots\dots (2.4.88)$$

$$M_r = \phi \cdot M_n, \text{ dengan } \phi = 0,9 \dots\dots\dots (2.4.89)$$

Keterangan:

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).

Dimana kekuatan momen rencana (M_r) harus lebih besar atau sama dengan momen luar rencana M_n . 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).

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

$$\text{Jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan : } c = \frac{0,003.d_d}{\frac{f_y}{200000} + 0,003} = \frac{600.d_d}{600+f_y} \dots\dots\dots (2.4.90)$$

$$\text{Tinggi blok tegangan beton tekan persegi ekuivalen : } a_{maks,leleh} = \frac{600.\beta_1.d_d}{600+f_y} \dots\dots\dots(2.4.91)$$

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

$$d_d = d \dots\dots\dots (2.4.92)$$

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

$$\text{Jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan : } c = \frac{0,003.d_d}{\frac{f_y}{200000} - 0,003} = \frac{600.d_d}{600-f_y} \dots\dots\dots (2.4.93)$$

Tinggi blok tegangan beton tekan persegi ekuivalen:

$$a_{min,leleh} = \frac{600.\beta_1.d_d}{600-f_y} \dots\dots\dots (2.4.94)$$

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

$$d_d = d_s' \dots\dots\dots(2.4.95)$$

3. 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}

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

Untuk a_{min}

- a. Jika nilai $a \geq a_{min\ leleh}$, berarti semua tulangan tekan sudah leleh.
- b. 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 ($f_s' < f_y$).

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

$$a = \left(\sqrt{p^2 + q} \right) - p \dots\dots\dots (2.4.96)$$

$$p = \frac{600.A_s' - A_s.f_y}{1,7.f'c.b} \dots\dots\dots (2.4.97)$$

$$q = \frac{600.\beta_1.d.s'.A_s'}{0,85.f'c.b} \dots\dots\dots (2.4.98)$$

2.4.3.3 Keruntuhan Lentur 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*)

Pada keadaan penampang beton dengan keruntuhan tekan, beton hancur sebelum baja tulangan leleh. Regangan tekan beton sudah melampaui regangan batas, $\varepsilon_{cu}' = 0,003$ tetapi regangan tarik baja tulangan belum mencapai leleh atau $\varepsilon_c' = \varepsilon_{cu}'$ tetapi $\varepsilon_s < \varepsilon_y$. Balok yang mengalami keruntuhan seperti ini terjadi pada penampang dengan rasio tulangan (ρ) yang besar dan disebut *over – reinforced*.

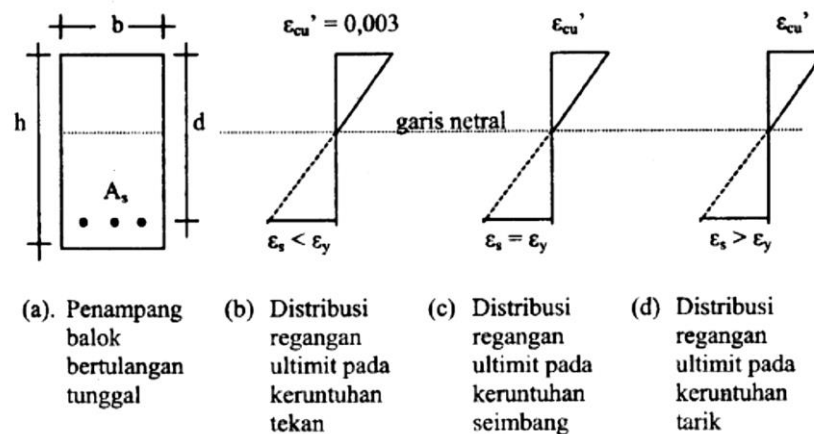
- b. Keruntuhan seimbang (*balance*)

Pada penampang beton dengan keruntuhan seimbang, keadaan beton hancur dan baja tulangan leleh terjadi bersamaan. Regangan tekan beton mencapai regangan batas, $\varepsilon_{cu}' = 0,003$ dan regangan tarik baja tulangan mencapai leleh pada saat yang sama, atau $\varepsilon_c' = \varepsilon_{cu}'$ dan $\varepsilon_s = \varepsilon_y$. Balok yang mengalami keruntuhan seperti ini terjadi pada penampang beton dengan rasio tulangan seimbang (*balance*). Rasio tulangan *balance* diberi notasi ρ_b .

c. Keruntuhan tarik (*ductile failure*)

Pada keadaan penampang beton dengan keruntuhan tarik, baja tulangan sudah leleh sebelum beton hancur. Regangan tarik baja tulangan sudah mencapai titik leleh tetapi regangan tekan beton belum mencapai regangan batas, $\varepsilon_{cu}' = 0,003$ atau $\varepsilon_s = \varepsilon_y$ tetapi $\varepsilon_c' < \varepsilon_{cu}'$. Balok yang mengalami keruntuhan seperti ini terjadi pada penampang dengan rasio tulangan (ρ) yang kecil dan disebut dengan *under-reinforced*.

Distribusi regangan pada penampang beton untuk ketiga jenis keruntuhan lentur tersebut dilukiskan seperti Gambar 2.30.



Gambar 2. 30 Distribusi Regangan Ultimit pada Keruntuhan Lentur (Sumber : Balok dan Pelat Beton Bertulang, Ali Asroni)

2. Sistem perencanaan yang digunakan

Berdasarkan penjelasan diatas, untuk perencanaan beton bertulang pada penampang beton sangat dihindari terjadi keruntuhan tekan (*over-reinforced*), karena sistem ini bersifat getas dan dapat berakibat runtuhnya balok secara mendadak.

Sistem perencanaan baton bertulang pada penampang balok dengan keadaan seimbang (*balance*) merupakan kondisi yang paling ideal tetapi sulit dan tidak pernah dapat dicapai, sedangkan sistem perencanaan beton bertulang dengan keruntuhan tarik (*under-reinforced*) boleh digunakan, karena mudah dicapai dan dapat dijamin keamanannya karena memberikan peringatan yang cukup, seperti defleksi yang berlebihan, sebelum terjadinya keruntuhan. Menurut peraturan beton Indonesia pada SNI 2847 – 2013, sistem perencanaan beton bertulang dibatasi dengan 2 kondisi berikut :

- a. Menurut SNI 2847 – 2013 pasal 10.5, agar tulangan yang digunakan tidak terlalu sedikit atau rasio tulangan ρ tidak terlalu kecil ditentukan rasio tulangan minimum, yaitu:

$$A_s \text{ harus } \geq A_s \text{ min atau } \rho \geq \rho_{\min} \text{ dengan } \rho = \frac{A_s}{(b.d)} \dots \dots \dots (2.4.99)$$

$$A_{s\min} = \rho_{\min} \cdot b \cdot d \dots \dots \dots (2.4.100)$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \dots \dots \dots (2.4.101)$$

- b. Pada pasal 10.3.6.3 SNI 2847 – 2013, agar penampang beton dapat mendekati keruntuhan seimbang ditentukan luasan serta rasio tulangan maksimum, yaitu:

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

$$A_s \text{ maks} = 0,75 \cdot A_{s,b} \text{ dan } \rho_{\text{maks}} = 0,75 \cdot \rho_b \dots \dots \dots (2.4.102)$$

2.4.3.4 Kuat Geser Balok

Keruntuhan akibat gaya geser bersifat getas atau bersifat tidak daktail, sehingga keruntuhan terjadi secara tiba-tiba. Perencana harus merancang panampang yang cukup kuat untuk memikul beban geser luar rencana tanpa mencapai kapasitas gesernya. 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.

$$V_r = \varphi \cdot V_n \text{ dan } \varphi \cdot V_n \geq V_u \dots\dots\dots (2.4.103)$$

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots (2.4.104)$$

Keterangan:

V_r : Gaya geser rencana (N).

V_n : Gaya geser nominal (N).

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 11.2.1.1 SNI 2847 – 2013, gaya geser yang ditahan oleh beton (V_c) dihitung dengan rumus :

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (2.4.105)$$

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

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{s} \dots\dots\dots (2.4.106)$$

4. Pasal 11.4.7.9 SNI 2847 – 2013

$$V_s \text{ tidak boleh diambil lebih besar dari } 0,66 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \dots\dots (2.4.107)$$

Jika V_s ternyata $0,66 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$, maka ukuran balok diperbesar.

5. Pada 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

$$A_{v,u} = \frac{V_s \cdot s}{f_{yt} \cdot d} \dots\dots\dots (2.4.108)$$

dengan s (panjang balok) = 1000 mm

- b. Pasal 11.4.6.3

Luas tulangan geser minimum, $A_{v,min}$ harus disediakan jika V_u melebihi $0,5\phi V_c$, atau memperbolehkan torsi diabaikan, maka $A_{v,min}$ dapat dihitung dengan:

$$A_{v,min} = \sqrt{f'c} \frac{b.s}{f_{yt}} \frac{0,35.b.s}{f_{yt}} \dots\dots\dots (2.4.109)$$

Jika $f'c < 30$ MPa, maka luas tulangan geser minimum ditentukan oleh $\frac{0,35.b.s}{f_{yt}}$. Sementara untuk $f'c > 30$ MPa tulangan geser minimum dihitung dengan persamaan $0,062 \cdot \sqrt{f'c} \cdot \frac{b.s}{f_{yt}}$. Naiknya kebutuhan luas tulangan geser untuk beton dengan $f'c$ diatas 30 MPa adalah untuk mencegah terjadinya keruntuhan tiba-tiba saat retak diagonal terjadi.

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

a. $s = \frac{n \frac{1}{4} \pi dp^2 S}{A_{v,u}} \dots\dots\dots (2.4.110)$

b. Pasal 11.4.5.1 untuk $V_s \leq 0,33\sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$, maka:

$$s \leq \frac{d}{2} \text{ dan } s \leq 600 \text{ mm} \dots\dots\dots (2.4.111)$$

Batasan ini diambil berdasarkan asumsi bahwa retak diagonal terjadi pada sudut 45° dan menjalar dalam arah horizontal sejarak d.

c. Pasal 11.4.5.3 untuk $V_s > 0,33\sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$, maka:

$$s \leq \frac{d}{4} \text{ dan } s \leq 300 \text{ mm} \dots\dots\dots (2.4.112)$$

Keterangan:

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

dp : diameter begel dari tulangan polos (mm).

2.4.3.5 Momen Puntir (Torsi)

Torsi atau momen puntir adalah momen yang bekerja terhadap sumbu longitudinal balok atau 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:

$$T_u \leq \frac{\phi \sqrt{f'c}}{12} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \text{ dengan } \phi = 0,75 \dots \dots \dots (2.4.113)$$

Keterangan : A_{cp} : luas penampang brutto

P_{cp} : keliling penampang brutto

Peraturan SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.1 memberikan batasan untuk ukuran penampang balok yang memikul torsi dan gaya geser:

1. Penampang solid

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b.d}\right)^2 + \left(\frac{T_u.P_h}{1,7A_{oh}h^2}\right)^2} \geq \phi \left[\left(\frac{V_c}{b.d} \circ \sqrt{f'c}\right) \right] \dots \dots \dots (2.4.114)$$

2. Penampang berongga

$$\left(\frac{V_u}{b.d}\right) + \left(\frac{T_u.P_h}{1,7A_{oh}h^2}\right) \geq \phi \left[\left(\frac{V_c}{b.d} \circ \sqrt{f'c}\right) \right] \dots \dots \dots (2.4.115)$$

$$x_o = b - 2 \left(p + \frac{\phi}{2}\right) \dots \dots \dots (2.4.116)$$

$$y_o = h - 2 \left(p + \frac{\phi}{2}\right) \dots \dots \dots (2.4.117)$$

$$A_{oh} = x_o \cdot y_o \dots \dots \dots (2.4.118)$$

$$A_o = 0,85 \cdot A_{oh} \dots \dots \dots (2.4.119)$$

$$P_h = 2 \left(x_o + y_o \right) \dots \dots \dots (2.4.120)$$

Setelah terbentuk retak torsi maka momen torsi ditahan oleh kombinasi tulangan sengkang tertutup dan tulangan memanjang.

1. Tulangan sengkang tertutup, A_t , dihitung berdasarkan SNI 2847-2013 yaitu:

a. Pasal 11.5.3.5

$$\phi T_n \geq T_u \dots \dots \dots (2.4.121)$$

b. Pasal 11.5.3.6

$$T_n = \frac{2.A_o.A_t.f_{yt}}{s} \cdot \cot \theta \dots \dots \dots (2.4.122)$$

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2.Ao.fyt.cot\theta} \dots\dots\dots(2.4.123)$$

Keterangan:

A_t = luas sayu buah kaki tulangan sengkang (mm^2)

f_{yt} = kuat luluh tulangan sengkang ≤ 400 MPa.

s = jarak antar tulangan sengkang = 1000 mm.

θ = sudut retak 45° untuk non-prategang.

2. Tulangan memanjang, A_l , yang dihitung berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.7, yaitu:

$$A_l = \left(\frac{A_t}{s}\right) \cdot Ph \cdot \left(\frac{f_{yt}}{f_y}\right) \cdot cot^2 \theta \dots\dots\dots(2.4.124)$$

Apabila tulangan torsi diperlukan, maka harus diperiksa terhadap syarat tulangan torsi minimal yang disyaratkan, yaitu:

1. Tulangan sengkang tertutup yang dibutuhkan untuk kombinasi geser dan torsi diatur dalam SNI 2847-2013 pasal 11.5.5.2:

$$A_{vt} = A_v + 2 \cdot A_t \geq \frac{0,35 \cdot b \cdot s}{f_{yt}} ; \text{ untuk } f'_c \leq 30 \text{ MPa} \dots\dots\dots(2.4.125)$$

Keterangan:

A_v = luas dua kaki tulangan sengkang tertutup untuk geser.

A_t = luas satu kaki tulangan sengkang tertutup untuk torsi.

2. Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.5.6.1, jarak tulangan torsi tidak lebih dari $Ph/8$ atau 300 mm.
3. Tulangan memanjang minimal yang diperlukan untuk torsi berdasarkan pasal 11.5.5.3:

$$A_l, \left(\frac{0,41 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_{cp}}{f_y}\right) \left(\frac{A_t}{s}\right) \left(\frac{f_{yt}}{f_y}\right)_{min} \dots\dots\dots(2.4.126)$$

Nilai A_t/s tidak boleh kurang dari $0,175b/f_{yt}$. Persyaratan tersebut untuk menjamin bahwa tulangan torsi yang disediakan tidak kurang dari 1% volume beton yang memikul beban momen torsi.

2.4.3.6 Selimut Balok

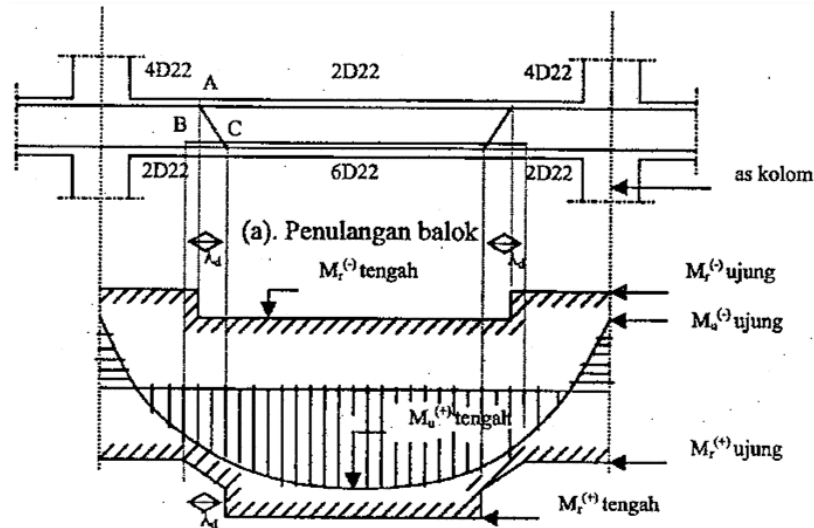
1. Selimut Momen Balok

Pemberian tulangan pada struktur balok dimaksudkan agar balok tersebut mampu memikul beban lentur yang terjadi pada balok. Oleh karena itu disyaratkan, bahwa momen dukung ijin yang berada di dalam balok yaitu momen rencana ($M_r = \phi \cdot M_n$) minimal sama dengan momen perlu (M_u) akibat bekerjanya kombinasi beban terfaktor yang berada di luar balok. Maka penggambaran selimut momen balok bertujuan memberikan gambaran bahwa momen rencana balok (M_r) harus lebih besar atau sama dengan momen perlu (M_u).

Pada penggambaran selimut momen balok perlu direncanakan letak pemutusan tulangan dengan suatu pertimbangan, bahwa tulangan tersebut boleh diputus pada lokasi sedemikian rupa sehingga diberi kesempatan untuk menyalurkan tegangannya sampai ke titik leleh. Hal ini berarti tulangan diputus pada jarak minimal sepanjang λ_d yang ditunjukkan pada gambar selimut momen, yang menyatakan bahwa garis momen rencana berada di luar garis momen perlu.

Adapun langkah-langkah yang ditempuh untuk menggambar selimut momen balok biasanya dilaksanakan dengan urutan berikut:

- a. Dihitung tulangan longitudinal pada daerah ujung dan lapangan balok.
- b. Dihitung momen rencana balok, baik momen positif maupun momen negatif.
- c. Dihitung panjang penyaluran tegangan tulangan λ_d pada tempat pemutusan tulangan.
- d. Membuat gambar penulangan balok lengkap dengan letak tulangan yang diputus.
- e. Membuat gambar momen perlu dan momen rencana balok dalam bentuk garis-garis momen, dengan mempertimbangkan panjang penyaluran λ_d sedemikian rupa, sehingga tampak bahwa garis-garis momen rencana berada di luar garis-garis momen perlu.



Gambar 2. 31 Contoh Selimut Momen Balok (Sumber : Balok dan Pelat Beton Bertulang, Ali Asroni)

Pada Gambar 2.31 tersebut menunjukkan beberapa hal sebagai berikut:

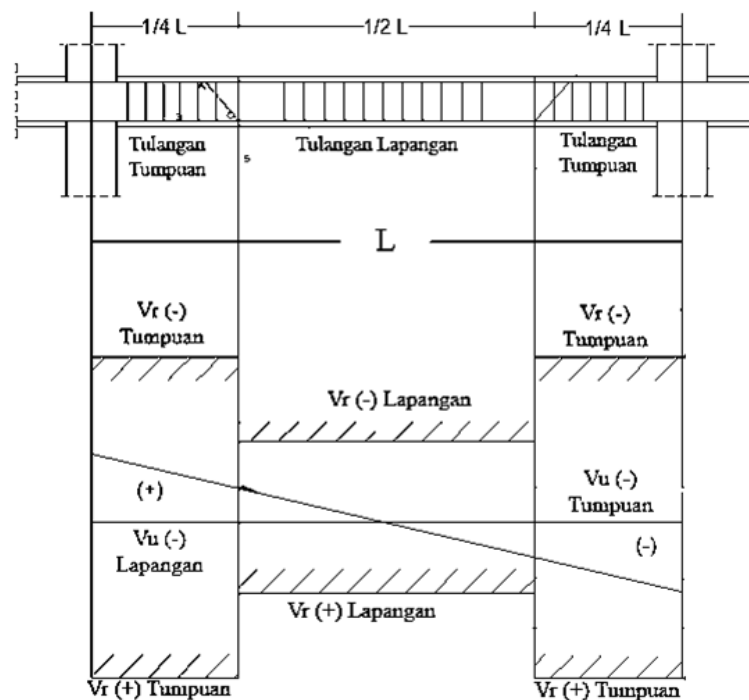
- Tulangan atas pada balok ujung berjumlah 4 batang di titik A, sehingga jumlah tulangan atas di bentang tengah tinggal 2 batang.
- Kekuatan momen rencana $M_r^{(-)}$ ujung (yang ditahan oleh batang tulangan atas) akan turun secara vertikal di titik A (karena ada 2 batang yang dibengkokkan ke bawah), menjadi momen rencana $M_r^{(-)}$ tengah (yang tinggal ditahan oleh 2 batang tulangan atas pada bentang tengah balok).
- Tulangan bawah pada balok ujung berjumlah 2 batang, kemudian ada penambahan tulangan 2 batang di titik B (sehingga berjumlah 4 batang) dan penambahan lagi 2 batang di titik C (dari pembengkokan tulangan atas ke bawah, sehingga berjumlah 6 batang pada bentang tengah balok).
- Kekuatan momen rencana $M_r^{(+)}$ ujung (ditahan oleh 2 batang tulangan bawah) akan tetap sampai di titik B, kemudian secara berangsur-angsur bertambah (ditunjukkan dengan garis lurus-miring) seiring dengan pengembangan tegangan tulangan (yang ditambahkan pada titik B sebanyak 2 batang, sehingga berjumlah 4 batang) sampai mencapai leleh di titik C, dan naik lagi secara vertikal di titik C tersebut menjadi

momen rencana $M_r^{(+)}$ tengah (karena penambahan 2 batang lagi dari pembengkokan tulangan atas, sehingga berjumlah 6 batang).

- e. Garis momen perlu mulai dari $M_u^{(-)}$ ujung kanan ke $M_u^{(+)}$ tengah sampai $M_r^{(+)}$ ujung kiri berada di dalam garis momen rencana (diantara batas garis $M_r^{(-)}$ dan $M_r^{(+)}$)

2. Selimut Geser Balok

Ketentuan mengenai selimut momen balok, juga berlaku terhadap selimut geser balok. Penggambaran selimut geser balok juga bertujuan bahwa momen rencana balok (V_r) harus lebih besar atau sama dengan momen perlu (V_u).



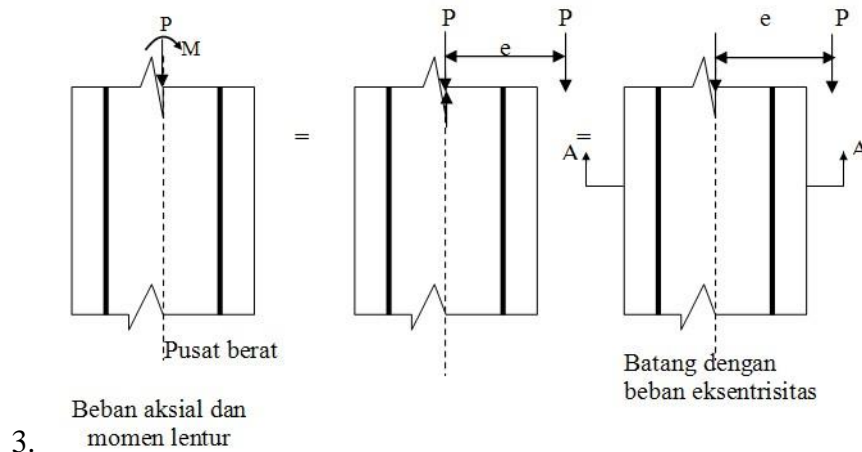
Gambar 2. 32 Contoh Selimut Geser Balok

2.4.4 Kolom

Kolom merupakan salah satu struktur vertikal yang berfungsi memikul beban aksial tekan (dengan atau tanpa adanya momen lentur). Kolom memikul beban vertikal yang berasal dari pelat lantai, atau atap dan menyalurkannya ke fondasi. Kolom Dimensi kolom yang digunakan bervariasi menurut beban yang diterima.

2.4.4.1 Penampang Kolom pada Kondisi Beban Sentris

Pada penampang kolom dengan kondisi beban sentris, berarti beban tersebut tepat bekerja pada sumbu (as) longitudinal kolom, sehingga beton maupun baja tulangan menahan beban tekan.



Gambar 2. 33 Beban Kolom Eksentris Secara Statika sama dengan Struktur yang Dibebani Aksial dan Momen Lentur (Wang dan Salon, 1986)

Kekuatan penampang kolom dengan beban sentris ditentukan dengan menganggap bahwa semua baja tulangan (A_1 dan A_2) sudah mencapai leleh, jadi tegangan baja tulangan $f_s = f_s' = f_y$. Di samping itu, regangan tekan beton sudah mencapai batas maksimal, yaitu $\epsilon_c' = \epsilon_{cu}' = 0,003$.

Pada kondisi beban sentris (P_o) ini dapat dianalisis seperti berikut:

$$\text{Luas bruto penampang kolom (mm}^2\text{)} : A_g = b \cdot h \dots \dots \dots (2.4.127)$$

$$\text{Luas total baja tulangan (mm}^2\text{)} : A_{st} = A_1 + A_2 \dots \dots \dots (2.4.128)$$

$$\text{Luas bersih (netto) beton (mm}^2\text{)} : A_n = A_g - A_{st} \dots \dots \dots (2.4.129)$$

$$\text{Gaya tekan beton} : C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot A_n \dots (2.4.130)$$

$$\text{Gaya tekan tulangan} : C_1 = A_1 \cdot f_y \dots \dots \dots (2.4.131)$$

$$C_2 = A_2 \cdot f_y$$

Dengan mempertimbangkan kesetimbangan gaya vertikal harus nol, maka diperoleh:

$$P_o = C_c + C_1 + C_2$$

$$= 0,85 \cdot f_c' \cdot A_n + A_1 \cdot f_y + A_2 \cdot f_y$$

$$= 0,85 \cdot f_c' (A_g - A_{st}) + (A_1 + A_2) \cdot f_y$$

Sehingga diperoleh persamaan berikut:

$$P_o = 0,85 \cdot f_c' (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y \dots \dots \dots (2.4.132)$$

Pada kenyataannya, beban yang betul-betul sentris itu jarang sekali dijumpai, dan dianggap tidak ada. Oleh karena itu, berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.3.6.3 memberi batasan kuat tekan nominal maksimum sebesar 80% dari beban sentris untuk kolom dengan tulangan spiral. Dengan demikian diperoleh rumus berikut:

$$P_n \text{ maks} = 0,80 \cdot P_o \text{ (kolom dengan tulangan sengkang)} \dots \dots \dots (2.4.133)$$

$$P_n \text{ maks} = 0,85 \cdot P_o \text{ (kolom dengan tulangan spiral)} \dots \dots \dots (2.4.134)$$

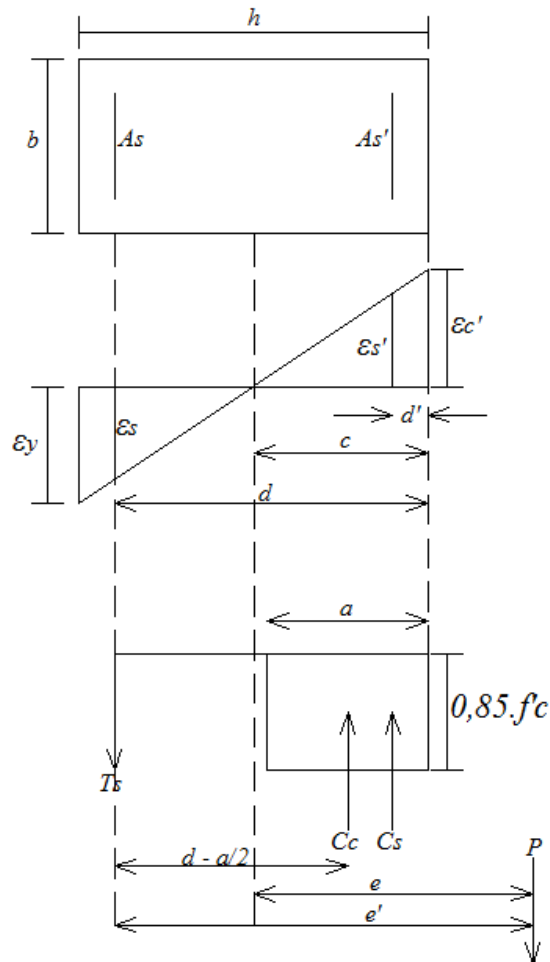
Kuat rencana dihitung dengan memasukan faktor reduksi kekuatan ϕ pada kuat nominalnya. Jadi kuat rencana pada penampang kolom dengan beban sentris dihitung dengan persamaan berikut:

$$\phi \cdot P_n \text{ maks} = 0,80 \cdot \phi \cdot P_o \text{ (kolom dengan tulangan sengkang)} \dots \dots (2.4.135)$$

$$\phi \cdot P_n \text{ maks} = 0,85 \cdot \phi \cdot P_o \text{ (kolom dengan tulangan spiral)} \dots \dots \dots (2.4.136)$$

2.4.4.2 Penampang Kolom pada Kondisi Beban Eksentris : Aksial dan Lentur

Prinsip-prinsip pada balok mengenai distribusi tegangan segiempat ekuivalennya dapat diterapkan juga pada kolom. Pada Gambar 2.34 memperlihatkan penampang melintang suatu kolom segi empat tipikal dengan diagram distribusi regangan, tegangan dan gaya.



Gambar 2. 34 Tegangan dan Gaya-Gaya pada Kolom

Berdasarkan Gambar 2.34 didapat persamaan regangan, tegangan serta gaya yang disajikan dalam Tabel 2.17.

Tabel 2. 17 Tegangan dan Gaya-Gaya pada Kolom

Tulangan Tarik	Tulangan Tekan	Gaya Dalam
$\varepsilon_s = 0,003 \frac{d - c}{c}$ $f_s = E_s \cdot \varepsilon_s \leq f_y$	$\varepsilon_{s'} = 0,003 \frac{c - d'}{c}$ $f_{s'} = E_s \cdot \varepsilon_{s'} \leq f_y$	$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a$ $C_s = A_{s'} \cdot f_{s'}$ $T_s = A_s \cdot f_s$ $a = \beta_1 \cdot c \leq h$
Keterangan: c = jarak sumbu netral \bar{y} = jarak pusat plastis		

Tulangan Tarik	Tulangan Tekan	Gaya Dalam
e = eksentrisitas beban ke pusat plastis		
e' = eksentrisitas beban ke tulangan tarik		
d' = selimut efektif tulangan tekan		

Eksentrisitas:

$$e = \frac{M_u}{P_u} \dots \dots \dots (2.4.137)$$

Gaya tahan aksial P_n dalam keadaan runtuh:

$$P_n = C_c + C_s - T_s \dots \dots \dots (2.4.138)$$

$$P_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a + A'_s \cdot f'_s - A_s \cdot f_s \dots \dots \dots (2.4.139)$$

Momen tahanan nominal:

$$M_n = P_n \cdot e$$

$$M_n = P_n \cdot e = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(d - \frac{h}{2} \right) \dots \dots \dots (2.4.140)$$

Keterangan :

c = jarak sumbu netral (mm).

h = tinggi balok (mm).

e = eksentrisitas beban ke pusat plastis (mm).

e' = eksentrisitas beban ke tulangan tarik (mm).

d' = selimut efektif tulangan tekan (mm).

Mu = Momen berfaktor (kNm)

Pu = Gaya aksial berfaktor (kN)

2.4.4.3 Ragam Kegagalan Material pada Kolom

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

1. 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:

$$P_n < P_{nb} \quad \text{keruntuhan tarik}$$

$$P_n = P_{nb} \quad \text{keruntuhan } \textit{balanced}$$

$$P_n > P_{nb} \quad \text{keruntuhan tekan}$$

Keruntuhan *balanced* pada kolom:

$$C_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d \dots\dots\dots (2.4.141)$$

$$a_b = \beta_1 \cdot C_b = \frac{600}{600 + f_y} \beta_1 \cdot d \dots\dots\dots (2.4.142)$$

Beban aksial nominal pada kondisi balance P_{nb} dan eksentrisitasnya e_b dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$P_{nb} = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a_b + A'_s \cdot f'_y - A_s \cdot f_y \dots\dots\dots (2.4.143)$$

$$M_{nb} = P_{nb} \cdot e_b$$

$$= 0,85 f'_c b \cdot a_b \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{a_b}{2}\right) + A'_s \cdot f'_y \left(\frac{h}{2} - d'\right) + A_s \cdot f_y \left(d - \frac{h}{2}\right) \dots\dots\dots (2.4.144)$$

$$\text{Dimana } f'_s = 0,003 ; \text{ Es } \frac{C_b - d'}{C_b} \leq f_y \dots\dots\dots (2.4.145)$$

2. Keruntuhan tarik, yang diawali dengan lelehnya tulangan yang tertarik.

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

$$P_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \dots\dots\dots (2.4.146)$$

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

atau

$$M_n = P_n \cdot e = 0,85 f'_c b \cdot a \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_s \cdot f_y \left(d - \frac{h}{2} \right) \dots \dots \dots (2.4.147)$$

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

$$P_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \left[\left(\frac{h}{2} - e \right) + \sqrt{\left(\frac{h}{2} - e \right)^2 + \frac{2 \cdot A_s \cdot f_y \cdot (d - d')}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}} \right] \dots \dots (2.4.148)$$

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

$$P_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot d \cdot \left[\frac{h - 2e}{2d} + \sqrt{\left(\frac{h - 2e}{2d} \right)^2 + 2 \cdot m \cdot \rho \left(1 - \frac{d'}{d} \right)} \right] \dots \dots \dots (2.4.149)$$

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

2.4.4.4 Kuat Geser Kolom

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

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} \dots \dots \dots (2.4.150)$$

Komponen struktur yang dibebani tekan aksial berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.2.1.2 berlaku persamaan sebagai berikut ini:

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \dots \dots \dots (2.4.151)$$

Adapun persyaratan untuk kuat geser kolom berdasarkan SNI 2847-2013 diantaranya:

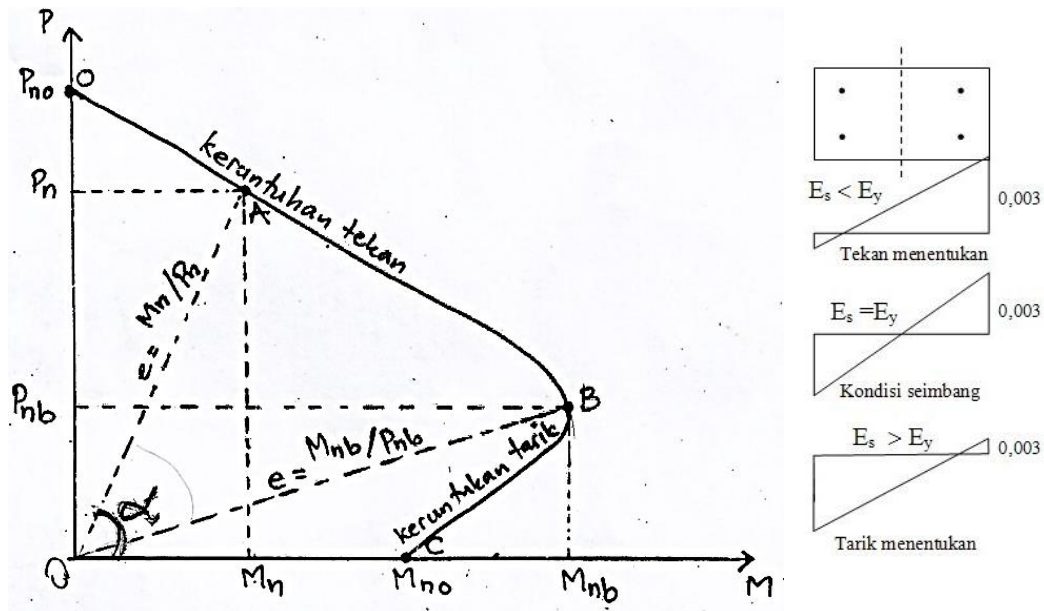
1. Pasal 7.10.5.1, tulangan sengkang harus memiliki diameter minimum 10 mm untuk pengikat tulangan memanjang dengan diameter 32 mm atau kurang, sedangkan untuk tulangan memanjang dengan diameter di atas 32 mm harus diikat dengan sengkang berdiameter minimum 13 mm.

2. Pasal 7.10.5.2, aturan untuk jarak sengkang kolom sebagai berikut:
 - $s \leq 16$ kali diameter tulangan memanjang.
 - $s \leq 48$ kali diameter tulangan sengkang.
 - $s \leq$ dimensi terkecil dari penampang kolom.
3. Pasal 21.3.5.6, pada daerah sepanjang sendi plastis (sepanjang λ_o), 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.

2.4.4.5 Diagram Interaksi Kolom

Beban yang bekerja 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 atau dimensi kolom, dan jumlah serta letak baja tulangan yang terpasang pada kolom tersebut. Hubungan antara beban aksial dan momen lentur digambarkan dalam suatu diagram yang disebut diagram interaksi kolom M – N. Kegunaan dari diagram tersebut yaitu, dapat memberikan gambaran tentang kekuatan dari kolom yang bersangkutan.

Untuk satu penampang kolom, dapat digambarkan dalam diagram interaksi kolom yang meliputi 3 (tiga) macam, yaitu diagram interaksi kolom untuk kuat rencanam diagram interaksi kolom untuk kuat nominal, dan diagram interaksi kolom untuk kuat batas (kapasitas). Untuk suatu penampang dengan ukuran dan jumlah tulangan tertentu, suatu diagram interaksinya akan mempunyai bentuk umum seperti Gambar 2.35 yang digambarkan dengan gaya aksial sebagai ordinatnya dan daya pikul momen sebagai absisnya.



Gambar 2. 35 Diagram Interaksi Kolom M - N (Sumber : Diktat Kuliah Beton Bertulang I)

Berikut merupakan penjelasan tentang diagram interaksi kolom diatas:

1. Momen-momen dan eksentrisitas dihitung terhadap pusat plastis (untuk penampang simetris dihitung terhadap pusat geometrisnya), bukan terhadap pusat tulangan tarik.
2. Setiap titik pada grafik tersebut (misal titik A), menunjukkan sepasang harga P_n dan M_n yang menurut teori merupakan kekuatan minimal yang akan dapat meruntuhkan batang tersebut.
3. Untuk tekan konsentris $M = 0$ grafik tersebut mulai dari titik 0 dengan kekuatan P_{no} merupakan batang yang dibebankan secara konsentris (pers. 2.4.108).
4. Pada bagian O-B menunjukkan daerah dengan eksentrisitas kecil dimana keruntuhan diawali dengan hancurnya beton (keruntuhan tekan).
5. Titik B adalah kondisi seimbang, yaitu suatu keadaan dimana aksi serentak beban P_{nb} (pers. 2.4.119) dan momen M_{nb} (pers. 2.4.220), beton akan mencapai regangan batasnya yaitu 0,003 pada saat sama tulangan tarik mencapai tegangan lelehnya (f_y).
6. Bagian B-C menunjukkan suatu daerah keruntuhan yang diawali dengan melelehnya tulangan tarik.

7. Titik C menunjukkan kapasitas momen M_{no} apabila kerja momen lentur saja ($P_n = 0$).
8. Semua garis miring yang melalui titik awal mempunyai suatu kemiringan kebalikan dari eksentrisitas $e = M_n / P_n$.

Adapun prosedur perhitungan suatu diagram interaksi kolom, yaitu:

1. Hitung P_{no} dan M_{no} .
2. Hitung P_{nb} dan e_b .
3. Hitung secara numeris dua atau tiga titik tambahan lainnya baik yang diatas maupun dibawah P_{nb} .
4. Memplot titik-titik yang telah didapat.

Pada gambar diagram interaksi kolom dapat dilihat bahwa:

1. Pada daerah OB keruntuhan tekan, bila P_n semakin besar maka M_n semakin kecil. Pada daerah ini keruntuhan terjadi karena regangan pada beton yang melampaui harga batasnya. Semakin besar regangan tekan beton yang disebabkan hanya oleh beban aksial, semakin kecil selisih regangan tambahan yang tersedia untuk memikul tambahan tekan yang disebabkan oleh lentur.
2. Sebaliknya di daerah BC, keruntuhan diawali dengan melelehnya tulangan. Jika batang dibebani lentur saja sampai melelehnya tulangan tarik, dan jika selanjutnya ditambahkan beban tekan aksial, maka tegangan tekan pada tulangan yang disebabkan oleh pembebanan akan melawan tegangan tarik yang ada sebelumnya. Hal ini menyebabkan terjadinya pengurangan harga tegangan total sampai dibawah harga tegangan lelehnya. Akibatnya dapat diberikan tambahan momen yang mempunyai harga sedemikian rupa sehingga dapat mengakibatkan kombinasi tegangan pada tulangan akibat beban aksial dan pertambahan momen kembali mencapai kekuatan lelehnya.

2.4.5 Dinding Geser/*Shear Wall*

Dinding geser/*shear wall* adalah jenis struktur dinding berbentuk beton bertulang yang biasanya dirancang untuk menahan gaya geser, gaya lateral

akibat gempa bumi. Berdasarkan letak dan fungsinya, shear wall dapat diklasifikasikan dalam 3 jenis, yaitu:

1. *Bearing walls* adalah dinding geser yang juga mendukung sebagian besar beban gravitasi. Tembok-tembok ini juga menggunakan dinding partisi antar apartemen yang berdekatan.
2. *Frame walls* adalah dinding geser yang menahan beban lateral, dimana beban gravitasi berasal dari *frame* beton bertulang. Tembok-tembok ini dibangun diantara baris kolom.
3. *Core walls* adalah dinding geser yang terletak di dalam inti pusat dalam gedung, yang biasanya diisi tangga atau poros lift.

Dalam perencanaan dinding geser/*shear wall* Tugas Akhir ini merupakan dinding geser dengan jenis *core walls*, yang berfungsi sebagai dinding poros lift. Sementara itu, gaya lateral yang bekerja pada struktur *core wall*, misalnya beban angin atau beban gempa dapat ditahan dengan berbagai cara. Kekakuan dari struktur apabila ditambah dengan kekakuan dari dinding geser akan meningkatkan daya tahan untuk beban angin pada beberapa kasus. Ketika struktur direncanakan untuk menahan beban lateral yang lebih besar, seperti gempa bumi, biasanya digunakan dinding geser pada bangunan gedung.

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

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

$$A_s = \frac{P}{\phi \cdot f_y} \dots\dots\dots(2.4.152)$$

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

$$A_s = \frac{P - (\phi \cdot f'_c)}{\phi \cdot f_y} \dots\dots\dots(2.4.153)$$

Dimana:

A_s = luasana tulangan yang dibutuhkan (cm^2)

P = gaya aksial yang bekerja pada *shear wall*.

$f'c$ = tegangan nominal dari beton.

f_y = tegangan leleh dari baja.

ϕ = 0,6 (tekan) dan 0,9 (tarik).

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

$$V_c = 0,27 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot h \cdot d + \frac{N_u \cdot d}{4l_w} \dots\dots\dots(2.4.154)$$

$$V_c = \left[0,5 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} + \frac{l_w(\sqrt{f'c} + 2\frac{N_u}{l_w h})}{\frac{M_u \cdot l_w}{V_u \cdot 2}} \right] \cdot h \cdot d \dots\dots\dots(2.4.155)$$

Dimana nilai V_c diambil yang paling kecil dari kedua persamaan diatas. Dengan l_w adalah panjang keseluruhan dindingm dan N_u adalah positif untuk tekan dan negatif untuk tarik. Persamaan diatas tidak berlaku bila $\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}$ bernilai negatif.

3. Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 11.9.3 V_n pada semua penampang horizontal untuk geser bidang dinding tidak boleh diambil lebih besar dari $0,85\sqrt{f'c} h \cdot d$, dimana h adalah tebal dinding dan d didefinisikan dalam pasal 11.9.4.
4. Pasal 11. 9. 4 untuk desain gaya geser horizontal dalam bidang dinding, nilai d harus diambil sama dengan $0,8l_w$. Nilai d yang lebih besar, sama dengan jarak dari serat tekan terjauh ke pusat gaya semua tulangan yang tertarik, boleh digunakan jika ditentukan dengan analisis kompatibilitas regangan.
5. Sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 11.9.8, apabila gaya geser terfaktor V_u adalah kurang dari pada $0,5\phi V_c$, maka tulangan harus disediakan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.9.9 atau sesuai dengan ketentuan dalam SNI 03-2847-2013 pasal 14 bila V_u melebihi $0,5\phi V_c$, tulangan geser harus dipasang menurut SNI 03-2847-2013 pasal 11.9.9.

Ketentuan-ketentuan tambahan khusus untuk *shear wall* penahan gempa

1. Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.9.2.2 sedikitnya harus dipakai 2 lapis tulangan dinding apabila gaya geser V_u terfaktor melebihi $0,17 \cdot A_c v \cdot \lambda \sqrt{f'c}$.
2. Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.9.2.1. rasio tulangan transversal tidak kurang dari 0,0025 dan spasi tulangan masing-masing lapis tidak lebih dari 450 mm.
3. Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.9.6.2 bahwa *shear wall* harus diberi *boundary element* bila:

$$C > \frac{lw}{600 \left(\frac{\delta u}{hw} \right)} \text{ dengan } \frac{\delta u}{hw} \text{ tidak boleh kurang dari } 0,007.$$

Evaluasi Kapasitas *Boundary Element Shear Wall*

1. Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.9.6.4 *boundary element* atau elemn pembatas harus dipasang secara horizontal dari sisi serat tekan terluar suatu jarak tidak kurang dari $(c - 0,1 lw)$ dan $c/2$. Dimana c adalah tinggi sumbu netral terbesar yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor dan kekuatan momen nominal yang konsisten dengan δu .
2. Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.9.6.4 rasio tulangan *boundary* tidak boleh lebih kurang dari SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.4.4 (a) sebesar:

$$\rho_s = \frac{0,12 \cdot f'c}{f_{yt}} \dots\dots\dots(2.4.156)$$

3. Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.4.4 (b), bahwa luar tulangan sengkang tidak boleh kurang dari:

$$A_{sh} = 0,3 \cdot \left[\frac{s \cdot bc \cdot f'c}{f_{yt}} \right] \cdot \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots(2.4.157)$$

$$A_{sh} = 0,09 \cdot \left[\frac{s \cdot bc \cdot f'c}{f_{yt}} \right] \dots\dots\dots(2.4.158)$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.9.6.5 spasi longitudinal maksimum tulangan transversal pada pembatas tidak boleh melebihi 200 mm.

2.5 Perencanaan Desain Struktur Bawah

2.5.1 Fondasi

Fondasi 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 fondasi terhadap pengaruh guling, geser, penurunan, serta daya dukung tanah terpenuhi.

Kegagalan pada pekerjaan fondasi dapat terjadi karena dua macam perilaku struktur fondasi. Pertama, seluruh fondasi 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.

2.5.1.1 Jenis Fondasi

Berdasarkan kemampuan daya dukung tanah, fondasi dibedakan menjadi 2 (dua), yaitu:

1. Fondasi dangkal (*shallow footing*) adalah fondasi yang berada pada lapisan tanah keras yang letaknya dekat dengan permukaan tanah. Seperti fondasi setempat, fondasi pelat dan fondasi menerus.
2. Fondasi dalam (*deep footing*) adalah fondasi yang berada pada lapisan tanah keras yang letaknya jauh dengan permukaan tanah. Seperti fondasi tiang pancang, dan fondasi *bored pile*.

2.5.1.2 Pemilihan Jenis Fondasi

Dalam pemilihan bentuk dan jenis fondasi yang memadai perlu diperhatikan beberapa hal yang berkaitan dengan pekerjaan fondasi tersebut. Hal ini dikarenakan tidak semua jenis fondasi dapat dilaksanakan di semua tempat. Adapun pemilihan jenis fondasi berdasarkan pada daya dukung tanah, ada beberapa hal perlu diperhatikan, yaitu sebagai berikut.

1. Bila tanah keras terletak pada permukaan tanah atau 2-3 meter di bawah permukaan tanah, maka fondasi yang dipilih sebaiknya jenis fondasi dangkal (fondasi setempat, fondasi menerus, fondasi pelat).

2. Bila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 10 meter atau lebih di bawah permukaan tanah maka jenis fondasi yang biasanya dipakai adalah fondasi tiang *minipile* dan fondasi sumuran atau fondasi *bored pile*.
3. Bila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 20 meter atau lebih di bawah permukaan tanah maka jenis fondasi yang biasanya dipakai adalah fondasi tiang pancang.

Dalam perencanaan struktur gedung pusat pendidikan dan pelatihan digunakan fondasi sumuran dan *pile cap*.

2.5.2 Perencanaan Fondasi Bored Pile

1. Daya Dukung Izin

Daya dukung izin adalah beban maksimum yang diijinkan bekerja pada tanah di atas pondasi. Persamaan dari daya dukung izin adalah:

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma_{ult}}{SF} \dots\dots\dots(2.5.1)$$

$\bar{\sigma}$ = Daya Dukung izin Kg/m².

σ_{ult} = Daya dukung terfaktor atau tekanan maksimum pada batas runtuh Kg/m².

SF = Faktor aman, 3 untuk beban normal, 2 untuk beban darurat.

2. Perencanaan Tiang

1) Kapasitas ultimit tiang

Analisis daya dukung tiang terhadap kekuatan tanah menggunakan persamaan berikut:

a) Kapasitas ultimit netto tiang tunggal (σ_u)

$$\sigma_u = \sigma_b + \sigma_s - \frac{W_p}{\dots\dots\dots(2.5.2)}$$

Di mana:

σ_u = Kapasitas ultimit netto

σ_b = Tahanan ujung ultimit

σ_s = Tahanan gesek dinding tiang ultimit

W_p = Berat sendiri tiang

- Tahanan adhesi tiang dan tanah

$$P_1 = KHc \dots \dots \dots (2.5.3)$$

P_1 = Tahanan adhesi dinding tiang ultimit

K = luas selimut tiang

c = adhesi antara dinding tiang dengan tanah

H = kedalaman tiang

- Tahanan gesek dinding tiang ultimit

$$P_2 = K \left(\frac{1}{2} H^2 \gamma \right) (1 + \tan^2 \phi_1) \tan \phi \dots \dots \dots (2.5.4)$$

P_2 = Tahanan gesek dinding tiang ultimit

γ = Berat isi tanah

K = luas selimut tiang

H = kedalaman tiang

ϕ = sudut gesek antara dinding tiang dan tanah

- Tahanan ujung tiang

$$P_3 = A_b \left((1,3cNc) + (H\gamma Nq) + (\beta\gamma N\gamma) \right) \dots \dots \dots (2.5.5)$$

P_3 = Tahanan ujung tiang ultimit

γ = Berat isi tanah

c = Kohesi tanah di ujung tiang

H = Kedalaman tiang

A_b = Luas penampang ujung tiang

$N_c, N_q, N\gamma$ = Faktor daya dukung

b) Kapasitas ultimit tiang berdasarkan data N SPT (Mayerhof)

$$\sigma_u = 4N_b A_b + \frac{1}{50} \bar{N} A_s \dots \dots \dots (2.5.6)$$

σ_u = Kapasitas ultimit tiang

N_b = Nilai N dari uji SPT di dekitar dasar tiang

A_b = Luas dasar tiang

\bar{N} =
Nilai rata-rata N dari uji SPT di sekitar tiang

A_s = Luas selimut tiang

2) Jumlah tiang yang diperlukan

$$np = \frac{P}{\sigma_{all}} \dots \dots \dots (2.5.7)$$

np = Jumlah tiang

P = Gaya aksial yang terjadi

σ_{all} = Kapasita dukung ijin tiang

$$\sigma_{all} = \frac{\sigma_u}{SF} \dots \dots \dots (2.5.8)$$

σ_u
= Kapasitas ultimit tiang

SF = Faktor aman

3) Beban maksimum pada kelompok tiang

$$P_{maks} = \frac{Pu}{np} \pm \frac{My \times X_{maks}}{ny \sum X^2} \pm \frac{Mx \times Y_{maks}}{nx \sum Y^2} \dots \dots \dots (2.5.9)$$

Di mana:

P_{maks} = beban maksimum kelompok tiang

P_u = gaya aksial terfaktor yang terjadi

M_y = momen yang bekerja tegak lurus sumbu y

M_x = momen yang bekerja tegak lurus sumbu x

X_{maks} = jarak tiang arah sumbu x terjauh

Y_{maks} = jarak tiang arah sumbu y terjauh

n_x = banyak tiang dalam satu baris arah sumbu x

n_y = banyak tiang dalam satu baris arah sumbu y

n_p = jumlah tiang

4) Penulangan tiang borepile

$$M_1 = \frac{M_{dasar}}{n} \dots\dots\dots(2.5.10)$$

a) Gaya geser maksimum terjadi pada bagian atas pondasi akibat beban horizontal

$$H_u = \frac{H}{n} \dots\dots\dots(2.5.11)$$

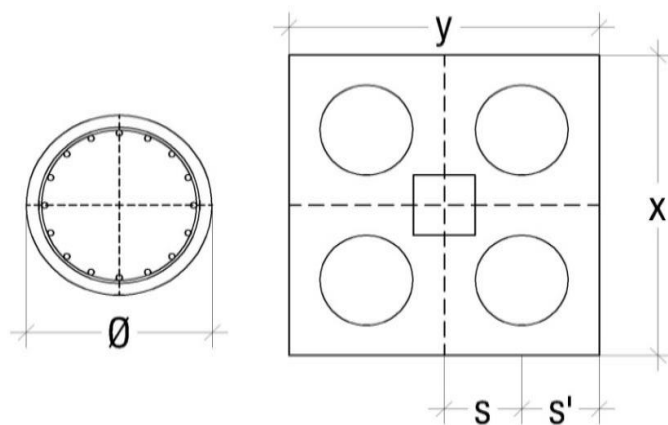
b) Kapasitas momen pada dasar pondasi tiang

$$M_1 = K_C^R A_{st} f_y d \dots\dots\dots(2.5.12)$$

$$A_{st} = \frac{M_1}{K_C^R f_y d} \dots\dots\dots(2.5.13)$$

c) Jumlah tulangan

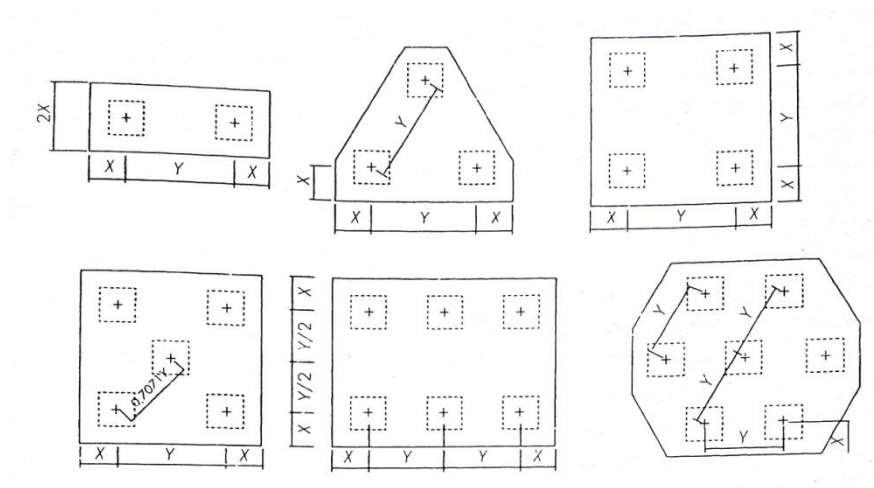
$$n = \frac{A_{st}}{A_s} \dots\dots\dots(2.5.14)$$



Gambar 2. 36 Penulangan Tiang Borepile

2.5.3 Pile Cap

Pile cap memiliki fungsi sebagai pengikat setiap pile yang telah terpancang ke dalam tanah. Pile cap mendistribusikan beban vertikal maupun beban lateral secara merata pada setiap pile. 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. Gambar 2.37 menunjukkan beberapa jenis tiang dalam satu grup tiang. Jarak antar tiang pusat ke pusat (Y) dibatasi sebesar 2,5 hingga 3 kali diameter tiang, sedangkan jarak as tiang ke tepi pile cap (X) dibatasi sebesar 1 hingga 1,5 kali diameter tiang.



Gambar 2. 37 Susunan Kelompok Tiang

1. Persamaan untuk menghitung tekanan aksial pada masing-masing tiang:

$$\sigma_i = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y \times x_i}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \times y_i}{\sum y^2} \dots \dots \dots (2.5.15)$$

Di mana:

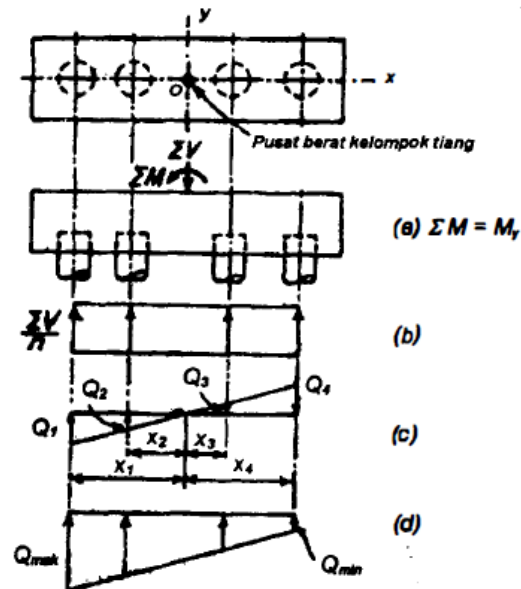
σ_i = Beban aksial pada tiang ke-i

V = Jumlah beban vertikal yang bekerja pada pusat kelompok tiang

n = Jumlah tiang

x, y = Berturut-turut jarak tiang terhadap sumbu y dan x

M_x, M_y = Berturut-turut momen pada arah sumbu x dan y



Gambar 2. 38 Diagram Reaksi Tiang Terhadap Gaya Aksial dan Momen

Persyaratan yang harus dipenuhi:

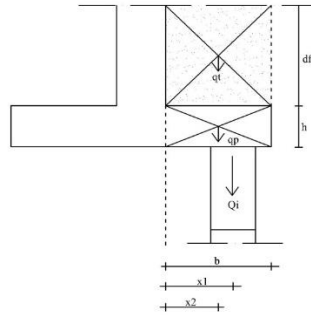
Beban normal : $\sigma_{maks} \leq \sigma_{Tanah}$

Beban sementara : $\sigma_{maks} \leq 5 \times \sigma_{Tanah}$

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

2. Penulangan pilecap

- 1) Beban-beban yang bekerja pada pilecap
 - a) Berat sendiri pilecap
 - b) Berat tanah urug
 - c) Gaya aksial tiang



Gambar 2. 39 Gaya-gaya yang terjadi pada pile cap

- 2) Momen yang terjadi pada sisi kolom

$$M_u = \sigma_i x_1 + q_p x_2 + q_t x_3 \dots\dots\dots(2.5.16)$$

- 3) Penulangan

- a) Rasio tulangan

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} \dots\dots\dots(2.5.17)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 f'_c}} \right] \dots\dots\dots(2.5.18)$$

$$\rho_b = 0,85 \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots(2.5.19)$$

$$\rho_{maks} = \left(\frac{0,003 + f_y / E_s}{0,008} \right) \rho_b \dots\dots\dots(2.5.20)$$

$$\rho \frac{1,4}{f_y \min} \dots\dots\dots(2.5.21)$$

Dengan syarat $\rho \min < \rho \text{ perlu} < \rho \text{ maks}$

- b) Luas tulangan

$$A_s = \rho b d \dots\dots\dots(2.5.22)$$

- c) Jarak antar tulangan

$$s = \frac{\frac{1}{4} \pi d^2 S}{A_s} \dots\dots\dots(2.5.23)$$

Dengan $s \leq 2h$

2.6 Analisa Struktur Menggunakan Program SAP2000

Program SAP2000 adalah program *software* teknik sipil yang digunakan untuk menghitung struktur bangunan. SAP2000 merupakan suatu program atau

software untuk menganalisis atau menggambar desain struktur untuk bangunan bertingkat maupun jembatan. Salah satu kelebihan program ini adalah selain dapat membantu dalam analisa struktur untuk mengetahui gaya dalam yang timbul, juga dapat membantu dalam *check* desain struktur untuk mengetahui luas tulangan lentur dan geser untuk balok dengan terlebih dahulu melakukan konversi dari SNI ke *ACI*.

Pada perencanaan struktur gedung pusat pendidikan dan pelatihan ini menggunakan bantuan program *SAP2000 versi 14.0.0*. Berikut ini merupakan tahapan perancangan model struktur baik *truss* maupun *frame* secara garis besar, dengan *SAP2000 versi 14.0.0*, yaitu:

1. Samakan satuan.
2. Gambarkan model struktur gedung.
3. Definisikan material yang digunakan, meliputi mutu beton serta mutu tulangan baja.
4. Definisikan profil struktur yang digunakan, meliputi kolom, balok, serta pelat.
5. Aplikasikan profil pada struktur.
6. Definisikan beban yang dipikul tiap elemen struktur, serta kombinasi beban yang digunakan.
7. Aplikasikan beban pada setiap elemen struktur, diantaranya beban hidup, beban mati, dan beban angin berupa beban merata. Serta beban gempa berupa beban terpusat.
8. Cek gambar struktur pada model *SAP2000*.
9. *Run* analisis.
10. Cek hasil analisa.