

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Konsep Perencanaan Gedung

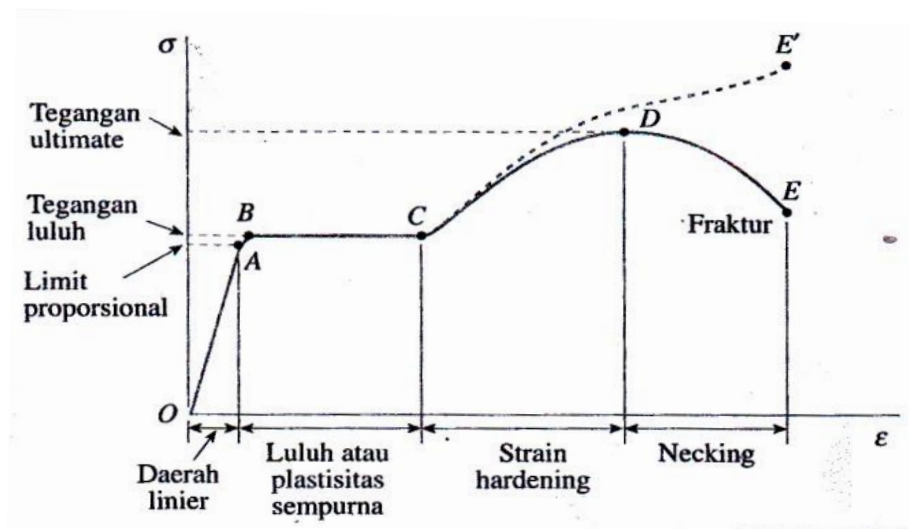
Struktur komposit merupakan perpaduan antara beton dan baja yang memanfaatkan kelebihan keduanya untuk bekerja sama sebagai satu kesatuan. Struktur komposit dalam aplikasinya dapat merupakan elemen dari bangunan, baik dari sebagai balok, kolom, dan pelat. Struktur balok komposit terdiri dari dua tipe yaitu balok komposit dengan penghubung geser dan balok komposit yang diselubungi beton. Sedangkan kolom komposit dapat merupakan tabung atau pipa baja yang dicor beton atau baja profil yang diselimuti beton dengan tulangan longitudinal dan diikat dengan tulangan lateral. Pada struktur pelat komposit digunakan pelat beton yang bagian bawahnya diperkuat dengan dek baja bergelombang (Widiarsa dan Deskarta dalam Dian, 2017:2).

Kim (dalam Shinta, 2015:5) menjelaskan bahwa sistem struktur komposit terbentuk akibat interaksi antara komponen struktur baja dan beton yang karakteristik dasar masing-masing bahan dimanfaatkan secara optimal. Karakteristik penting yang dimiliki oleh struktur baja adalah kekuatan tinggi, modulus elastisitas tinggi, serta daktilitas tinggi. Sedangkan karakteristik penting yang dimiliki oleh struktur beton adalah ketahanan terhadap api, mudah dibentuk dan murah.

2.2 Sifat Mekanis Material Baja

Kekuaan material baja dalam menerima beban sangat ditentukan oleh sifat mekanisnya. Sifat mekanis suatu bahan adalah kemampuan bahan tersebut dalam

memberikan perlawanan terhadap beban yang bekerja pada bahan tersebut. Sifat mekanis material baja struktural yang diperlukan dalam perencanaan meliputi tegangan leleh, tegangan putus, modulus elastisitas, modulus geser, nisbah poisson, serta koefisien pemuaian. (Eva Arifi, 2020)



Gambar 2.1 Kurva Tegangan – Regangan Material Baja

Sifat mekanis material baja struktural secara umum dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel 2.1 Sifat Mekanis Baja Struktural Secara Umum

Sifat Mekanis	Simbol	Nilai	Satuan
Modulus Elastisitas	E	200.000	MPa
Modulus Geser	G	80.000	MPa
Nisbah Poisson	μ	0,3	
Koefisien Pemuaian	α	12×10^{-6}	$^{\circ}\text{C}$

Sumber : SNI-1729-2002 (Badan Standarisasi Nasional, 2002)

Sedangkan berdasarkan tegangan leleh dan tegangan putusnya, mutu material baja dibagi menjadi beberapa kelas mutu sebagai berikut :

Tabel 2.2 Sifat Mekanis Baja Struktural Berdasarkan Mutu Baja

Jenis Baja	Tegangan Putus Minimum, fu (MPa)	Tegangan Leleh Minimum, fy (MPa)	Peregangan Minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	28
BJ 50	500	290	26
BJ 55	550	410	13

Sumber : SNI-1729-2002 (Badan Standarisasi Nasional, 2002)

2.3 Metode LRFD (*Load and Resistance Faktor Design*)

Pada analisis struktur baja, terdapat dua metode yaitu metode ASD (Allowable Stress Design) dan metode LRFD (Load Resistance Factor Design). Metode ASD merupakan perencanaan berdasarkan tegangan kerja yang mengacu pada perencanaan elastis, dimana semua tegangan yang terjadi di bawah tegangan izin. Metode LRFD merupakan perencanaan berdasarkan beban terfaktor yang memperhitungkan kondisi batas, yaitu kondisi maksimum yang dapat diberikan suatu penampang yang berada di luar batas elastis serta memperhitungkan tegangan ultimate baja (f_u).

Desain dikatakan memenuhi metode LRFD (*Load and Resistance Factor Design*) jika persyaratan spesifikasi setiap komponen struktural sama atau melebihi ketentuan perlu yang ditentukan berdasarkan kombinasi beban LRFD.

Desain harus dilakukan sesuai dengan persamaan :

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.1)$$

Dimana :

R_u = Kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban

ϕ = Faktor ketahanan

R_n = Kekuatan nominal

ϕR_n = Kekuatan desain

Kuat perlu R_u adalah nilai maksimum dari berbagai kombinasi beban terfaktor yang dicari dengan menggunakan analisis struktur. Hasil analisis struktur selanjutnya dibandingkan dengan kuat desain ϕR_n . Faktor ketahanan dalam perencanaan struktur berdasarkan metode LRFD, ditentukan dalam SNI 1729 2002, sebagai berikut :

Tabel 2.3 Faktor Reduksi Perencanaan Struktur

Komponen Struktur	Faktor Reduksi
a. Komponen struktur memikul lentur	$\phi = 0,90$
b. Komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial	$\phi = 0,85$
c. Komponen struktur yang memikul gaya tarik :	
- Terhadap kuat tarik leleh	$\phi = 0,90$
- Terhadap kuat tarik fraktur	$\phi = 0,75$
d. Komponen struktur lemah gaya aksial dan lentur	$\phi = 0,90$
e. Komponen struktur komposit :	
- Kuat tekan	$\phi = 0,85$
- Kuat tumpu beton	$\phi = 0,60$
- Kuat lentur dengan distribusi tegangan plastik	$\phi = 0,85$
- Kuat lentur dengan distribusi tegangan elastic	$\phi = 0,90$
f. Sambungan baut	$\phi = 0,75$
g. Sambungan las :	
- Las tumpul penetrasi penuh	$\phi = 0,90$
- Las sudut, las tumpul penetrasi, las pengisi	$\phi = 0,75$

Sumber : SNI-1729-2002 (Badan Standarisasi Nasional, 2002)

2.4 Pembebanan Bangunan Bertingkat

Beban merupakan gaya luar yang bekerja pada suatu komponen struktur (Eva Arifi, 2020). Sehingga memperhitungkan pembebanan pada suatu struktur merupakan hal yang terpenting dalam perencanaan sebuah gedung.

Beban yang bekerja pada struktur dapat digolongkan menjadi beban gravitasi yang meliputi beban mati (*Dead Load*), beban hidup (*Live Load*), dan beban lateral yang meliputi beban gempa (*Earthquake*) dan beban angin (*Wind Load*).

Adapun acuan yang digunakan dalam merencanakan pembebanan adalah sebagai berikut :

1. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983),
2. SNI 1727 2013 tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain, dan
3. SNI 1726 2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.

Berdasarkan SNI 1727 2013 tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain, bangunan gedung dan struktur lain yang dirancang berdasarkan material standar atau spesifikasi tertentu, harus dirancang sesuai dengan kombinasi beban yang ditetapkan sebagai berikut.

2.4.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, atap, plafond, tangga, dinding partisi tetap, finishing, cladding gedung dan komponen arsitektural gedung serta peralatan layan yang terpasang.

Tabel 2.4 Berat Sendiri Bahan Bangunan

Material Gedung	Berat (kg/m ³)
Baja	7.850
Batu alam	2.600
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat teumpuk)	1.500
Batu karang (berat tumpuk)	700
Batu pecah	1.450
Besi tuang	7.250
Beton	2.200
Beton Bertulang	2.400
Kayu (kelas I)	1.000
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1.650
Pasangan bata merah	1.700
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2.200
Pasangan batu cetak	2.200
Pasangan batu karang	1.450
Pasir (kering udara sampai lembab)	1.600
Pasir (jenuh air)	1.800
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1.850
Tanah lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1.700
Tanah lempung dan lanau (basah)	2.000
Timah hitam	11.400

Sumber : Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG), (Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1983)

Tabel 2.5 Berat Sendiri Komponen Gedung

Komponen Gedung	Berat (kg/m ³)
Adukan, per cm tebal :	
a. Dari semen	21
b. Dari kapur, semen merah atau tras	17
Aspal, termasuk bhan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14
Dinding pasangan bata merah :	
a. Satu bata	450
b. Setengah bata	250
Dinding pasangan batako	
a. Berlubang :	
• Tebal dinding 20 cm (HB 20)	200
• Tebal dinding 10 cm (HB 10)	120
b. Tanpa Lubang :	
• Tebal dinding 15 cm	300

<ul style="list-style-type: none"> • Tebal dinding 10 cm 	200
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari :	
a. Semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	11
b. Kaca, dengan tebal 3 – 5 mm	10
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m ²	40
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,80 m	7
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m ² bidang atap	50
Penutup atas sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	40
Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa gordeng	10
Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11

Sumber : Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG), (Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1983)

2.4.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut.

Tabel 2.6 Beban Hidup Pada Lantai Gedung

Beban Hidup	Berat (kg/m ²)
a. Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam (b)	200
b. Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik, atau bengkel	125

c. Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit.	250
d. Lantai ruang olahraga	400
e. Lantai ruang dansa	500
f. Lantai dan balkon dalam dari ruang-ruang 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
m. Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidup dari lantai ruang yang berbatasan, dengan minimum.	300

Sumber : Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG), (Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1983)

2.4.3 Beban Air Hujan

Menurut PPIUG 1983 pasal 3.2 (2a) penentuan beban air hujan ditetapkan dengan persamaan :

$$q_R = 40 - 0,8 \alpha \quad (2.2)$$

dengan, α = sudut kemiringan atap dalam derajat

$$q_R > 20 \text{ kg/m}^2$$

$$q_R = 0, \text{ Jika } \alpha > 50^\circ$$

2.4.3 Beban Gempa

Beban gempa yang digunakan sesuai SNI 03-1726-2019, dimana wilayah gempa terbagi sesuai percepatan respon spektrumnya. Beban geser dasar nominal statik ekuivalen V yang terjadi dari tingkat dasar dihitung sesuai SNI 03-1726-2019 pasal 7.8. V ini harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung ke masing-masing lantai (F) sesuai SNI 03-1726-2019 pasal 7.8.3.

Secara umum dalam peraturan SNI-1726-2019 proses garis besarnya masih sama, namun zonasi gempanya sudah lebih detail (halus) dibandingkan peraturan SNI-1726-2019. Tiap Kota atau tempat di Indonesia akan memiliki grafik spectrum respons masing-masing, tidak hanya terbatas pada 6 Wilayah Gempa seperti sebelumnya.

1. Kategori Risiko Bangunan

Berdasarkan tabel 3 dalam SNI 1726 2019 berikut merupakan kategori risiko bangunan.

Tabel 2.7 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran 	II

<ul style="list-style-type: none"> - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah 	IV

<ul style="list-style-type: none"> - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	
---	--

Sumber : SNI 1726 2019, (Badan Standarisasi Nasional, 2019)

2. Faktor Keutamaan Gempa

Berdasarkan tabel 4 dalam SNI 1726 2019 berikut merupakan faktor keutamaan gempa :

Tabel 2.8 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (Ie)
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber : SNI 1726 2019, (Badan Standarisasi Nasional, 2019)

3. Klasifikasi Situs

Penentuan klasifikasi situs berguna untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium. Berdasarkan tabel 5 dalam SNI 1726 2019 berikut merupakan klasifikasi situs:

Tabel 2.9 Klasifikasi Situs

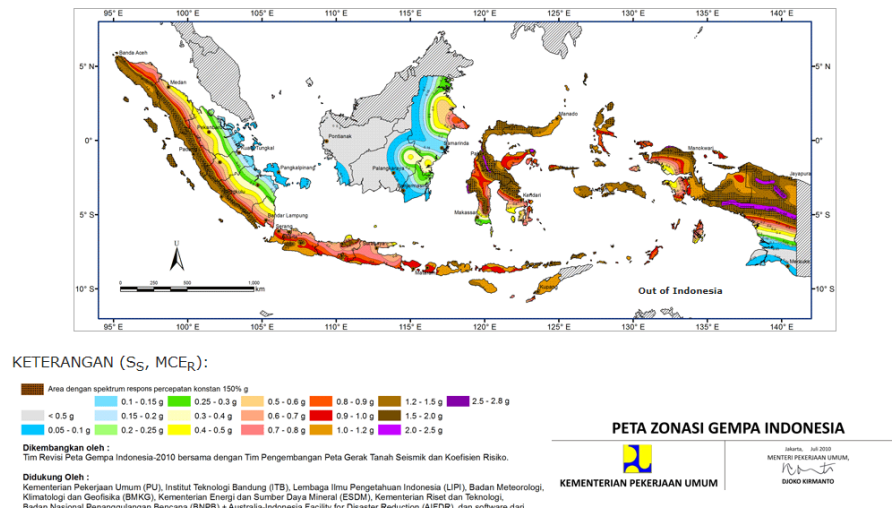
Kelas Situs	$\bar{V}_s(m/s)$	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	$\bar{S}_u(kPa)$
SA(batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 – 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 – 750	> 50	> 100
SD (tanah sedang)	175 – 350	15 – 50	50 – 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa		

Sumber : SNI 1726 2019, (Badan Standarisasi Nasional, 2019)

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

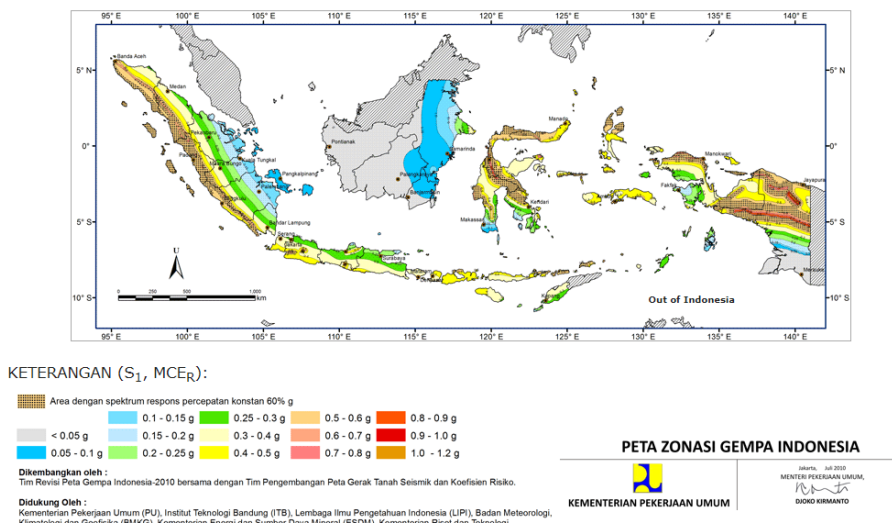
4. Parameter Percepatan Terpetakan

Parameter percepatan batuan dasar pada perioda pendek (S_s) dan percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik (S_1) 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.



Gambar 2.2 Peta respon spektra percepatan 0,2 detik (S_s) terlampaui 2% dalam 50 tahun

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



Gambar 2.3 Peta respon spektra percepatan 1 detik (S_1) terlampaui 2% dalam 50 tahun

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

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 . Berikut tabel koefisien situs F_a dan F_v berdasarkan tabel 6 dan tabel 7 dalam SNI 1726 2019 :

Tabel 2.10 Koefisien Situs, Fa

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik, S _s					
	S _s ≤ 0,25	S _s = 0,5	S _s = 0,75	S _s = 1,0	S _s = 1,25	S _s ≥ 1,5
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^a					

Sumber : SNI 1726 2019, (Badan Standarisasi Nasional, 2019)

CATATAN:

- (a) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Tabel 2.11 Koefisien Situs, Fv

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, T = 1 detik, S ₁					
	S ₁ ≤ 0,1	S ₁ = 0,2	S ₁ = 0,3	S ₁ = 0,4	S ₁ = 0,5	S ₁ ≥ 0,6
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^a					

Sumber : SNI 1726 2019, (Badan Standarisasi Nasional, 2019)

CATATAN:

- (a) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik
6. Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCER)

Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (SMS) dan perioda 1 detik (SM1) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2.3)$$

dan,

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (2.4)$$

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 (SDS) dan perioda 1 detik (SD1), harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.5)$$

dan,

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.6)$$

Untuk membuat periode yang lebih kecil dari T_0 , nilai S_a menggunakan persamaan berikut:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.7)$$

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.8)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.9)$$

8. Kategori Desain Seismik

Berdasarkan tabel 8 dan 9 dalam SNI 1726: 2019 berikut merupakan kategori desain seismik berdasarkan parameter percepatan spektral desain:

Tabel 2.12 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

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

Sumber : SNI 1726 2019, (Badan Standarisasi Nasional, 2019)

Tabel 2.13 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

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

Sumber : SNI 1726 2019, (Badan Standarisasi Nasional, 2019)

9. Faktor R , Ω_0 , C_d untuk Sistem Tahan Gempa

Koefisien modifikasi respons (R), faktor pembesaran defleksi (C_d), faktor kuat lebih sistem (Ω_0) dan batasan ketinggian struktur. Berdasarkan tabel 12 dalam SNI 1726 2019.

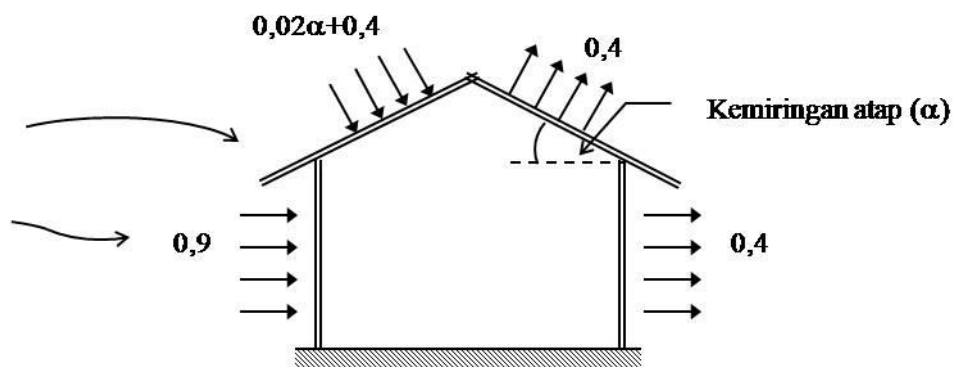
2.4.4 Beban Angin

Beban angin adalah beban yang bekerja pada struktur akibat tekanan dari gerakan angin. Beban angin sangat bergantung dari lokasi dan ketinggian dari struktur.

Menurut SNI 1729 1989 tentang Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung besarnya tekanan angin tiup harus diambil minimum sebesar 25 kg/m², kecuali untuk bangunan berikut :

1. Tekanan tiup di tepi laut hingga 5 km dari pantai harus diambil minimum 40 kg/m².
2. Untuk bangunan di daerah lain yang kemungkinan tekanan tiupnya lebih dari 40 kg/m², harus diambil sebesar $p = V/16$ kg/m², dengan V adalah kecepatan angin dalam m/s.
3. Untuk cerobong, tekanan tiup angin dalam kg/m² ditentukan dengan rumus $42,5 + 0.6h$, dengan h adalah tinggi cerobong dalam meter.

Nilai tekanan tiup yang diperoleh dari hitungan di atas harus dikalikan dengan suatu koefisien angin, untuk mendapatkan gaya resultan yang bekerja pada bidang kontak tersebut.



Gambar 2.4 Koefisien Angin Tekan dan Hisap

2.4.4.1 Tekanan Angin Desain

Menurut SNI 1727 2013 tentang tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain penentuan tekanan angin desain P ditentukan dengan persamaan :

$$P = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \quad (2.10)$$

dengan,

P = Tekanan angin desain (N/m²)

q = Tekanan velositas dinding angin datang (q_z) yang diukur pada ketinggian z, atau tekanan velositas dinding/atap lainnya (q_h) yang diukur pada ketinggian h (N/m²)

q_i = Tekanan velositas untuk mengevaluasi tekanan internal positif/negatif pada semua permukaan yang secara konservatif diambil senilai (q_h) yang diukur pada ketinggian h (N/m²)

G = Koefisien faktor efek tiupan angin

C_p = Koefisien tekanan eksternal

GC_{pi} = Koefisien tekanan internal

Tekanan velositas, q_z, dievaluasi pada ketinggian z harus dihitung dengan persamaan berikut :

$$q_z = 0.00256 K_z K_{zt} K_d V^2 \quad (2.11)$$

dengan,

K_d = faktor arah angin, Pasal 26.6

K_z = koefisien eksposur tekanan velositas, Pasal 27.3.1

K_{zt} = faktor topografi tertentu, Pasal 26.8.2

V = kecepatan angin dasar, Pasal 26.5

q_z = tekanan velositas dihitung pada ketinggian z

q_h = tekanan velositas dihitung pada ketinggian atap rata-rata h

2.4.4.2. Parameter Beban Angin

Menurut SNI 1727 2013 tentang tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain penentuan tekanan angin desain P harus memperhatikan beberapa parameter berikut :

1. Kecepatan angin dasar (Pasal 26.5.1)

Kecepatan angin dasar V , digunakan untuk menentukan beban angin desain pada bangunan gedung dan struktur lain harus ditentukan dari instansi yang berwenang, sesuai dengan kategori risiko bangunan gedung.

2. Koefisien faktor arah angin (Pasal 26.6)

Faktor arah angin K_d , harus ditentukan dari tabel di bawah ini :

Tabel 2.14 Faktor Arah Angin, K_d

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin, K_d
Bangunan Gedung	
Sistem penahan beban angin utama	0.85
Komponen dan klading bangunan gedung	0.85
Atap Lengkung	0.85
Cerobong asap, tangki, dan struktur yang sama	
Segi empat	0.9
Segi enam	0.95
Bundar	0.95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0.85
Papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0.85
Rangka batang menara	
Segitiga, segi empat, persegi panjang	0.85
Penampang lainnya	0.95

Sumber : SNI 1727 2013, (Badan Standarisasi Nasional, 2013)

3. Kategori eksposur (Pasal 26.7.3)

a. Eksposur B

Untuk bangunan gedung dengan tinggi atap rata-rata kurang dari atau sama dengan 30 ft (9,1 m), eksposur B berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh kekasaran Permukaan B, berlaku diarah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 1.500 ft (457

m). Untuk bangunan dengan tinggi atap rata-rata lebih besar dari 30 ft (9,1 m),

Eksposur B berlaku bilamana Kekasaran Permukaan B berada dalam arah lawan angin untuk jarak lebih besar dari 2.600 ft (792 m) atau 20 kali tinggi bangunan, pilih yang terbesar.

b. Eksposur C

Eksposur C berlaku untuk semua kasus di mana Eksposur B atau D tidak berlaku.

c. Eksposur D

Eksposur D berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan D, berlaku diarah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 5.000 ft (1.524 m) atau 20 kali tinggi bangunan, pilih yang terbesar.

Eksposur D juga berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah segera lawan angin dari situs B atau C, dan situs yang berada dalam jarak 600 ft (183 m) atau 20 kali tinggi bangunan, mana yang terbesar, dari kondisi Eksposur D sebagaimana ditentukan dalam kalimat sebelumnya.

4. Koefisien faktor topografi (Pasal 26.8)

Efek peningkatan kecepatan angin harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin desain dengan menggunakan faktor K_{zt} :

$$K_{zt} = 1 + K_1 K_2 K_3 \quad (2.12)$$

dengan,

K_1 , K_2 , dan K_3 diberikan dalam Gambar 26.8-1 SNI 1727 2013.

Jika kondisi situs dan lokasi gedung dan struktur bangunan lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan dalam Pasal 26.8.1, maka nilai $K_{zt} = 1,0$.

5. Koefisien faktor efek tiupan angin (Pasal 26.9)

Faktor efek-tiupan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0,85.

6. Koefisien tekanan internal (Pasal 26.11)

Koefisien tekanan Internal, (GC_{pi}), harus ditentukan dari Tabel di bawah ini:

Tabel 2.15 Koefisien Tekanan Internal (GC_{pi})

Klasifikasi Ketertutupan	(GC_{pi})
Bangunan gedung terbuka	0.00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+0.55 -0.55
Bangunan gedung tertutup	+0.18 -0.18

Sumber : SNI 1727 2013, (Badan Standarisasi Nasional, 2013)

7. Koefisien eksposur tekanan velositas (Pasal 27.3)

Koefisien tekanan Internal, (K_z atau K_h), harus ditentukan dari Tabel di bawah ini:

Tabel 2.16 Koefisien eksposur tekanan velositas, K_h dan K_z

Tinggi di atas level tanah, z		Eksposur		
ft	m	B	C	D
0-15	0-4.6	0.57	0.85	1.03
20	6.1	0.62	0.90	1.08
25	7.6	0.66	0.94	1.12
30	9.1	0.70	0.98	1.16
40	12.2	0.76	1.04	1.22
50	15.2	0.81	1.09	1.27
60	18	0.85	1.13	1.31
70	21.3	0.89	1.17	1.34

80	24.4	0.93	1.21	1.38
90	27.4	0.96	1.24	1.40
100	30.5	0.99	1.26	1.43
120	36.6	1.04	1.31	1.48
140	42.7	1.09	1.36	1.52
160	48.8	1.13	1.39	1.55
180	54.9	1.17	1.43	1.58
200	61.0	1.20	1.46	1.61
250	76.2	1.28	1.53	1.68
300	91.4	1.35	1.59	1.73
350	106.7	1.41	1.64	1.78
400	121.9	1.47	1.69	1.82
450	137.2	1.52	1.73	1.86
500	152.4	1.56	1.77	1.89

Sumber : SNI 1727 2013, (Badan Standarisasi Nasional, 2013)

8. Koefisien tekanan eksternal (Pasal 27.4)

Tekanan harus diterapkan secara bersamaan pada dinding di sisi angin datang dan disisi angin pergi pada permukaan atap seperti ditetapkan dalam tabel di bawah ini :

Tabel 2.17 Koefisien tekanan eksternal dinding, C_p

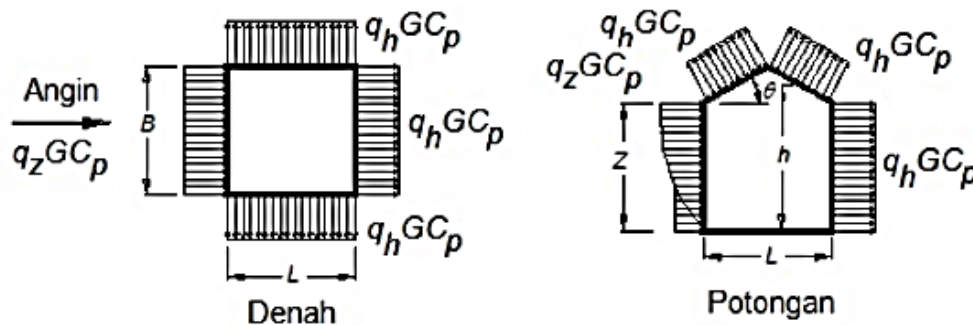
Koefisien tekanan dinding, C_p			
Permukaan	L/B	C_p	Digunakan dengan
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0.8	qz
Dinding di sisi angin pergi	0-1	-0.5	qh
	2	-0.3	
	>4	-0.2	
Dinding Tepi	Seluruh nilai	-0.7	qh

Sumber : SNI 1727 2013, (Badan Standarisasi Nasional, 2013)

Tabel 2.18 Koefisien tekanan eksternal atap, C_p

Arah Angin	Sisi angin datang									Sisi angin pergi			
	Sudut, θ										Sudut, θ		
	h/L	10	15	20	25	30	35	45	≥ 60	10	15	≥ 20	
Tegak lurus terhadap bubungan untuk $\theta \geq 10^\circ$	≤ 0.25	-0.7 -0.18	-0.5 0.00	-0.3 0.2	-0.2 0.3	-0.2 0.3	0.0 0.4	0.4	0.01 θ	-0.3	-0.5	-0.6	
	0.5	-0.9 -0.18	-0.7 -0.18	-0.4 0.0	-0.3 0.2	-0.2 0.2	-0.2 0.3	0.0 0.4	0.01 θ	-0.5	-0.5	-0.6	
	≥ 1.0	-1.3 -0.18	-1.0 -0.18	-0.7 -	-0.5 0.0	-0.3 0.2	-0.2 0.2	0.0 0.4	0.01 θ	-0.7	-0.6	-0.6	

Sumber : SNI 1727 2013, (Badan Standarisasi Nasional, 2013)



Gambar 2.5 Koefisien tekanan eksternal atap pelana, atap perisai
(Sumber : SNI 1727 2013, (Badan Standarisasi Nasional, 2013))

2.4.4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban terfaktor yang digunakan dalam metode desain kekuatan berdasarkan SNI 1727 2013 tentang tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain antara lain :

1. Kombinasi 1 $U = 1,4 D$
2. Kombinasi 2 $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
3. Kombinasi 3 $U = 1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + 1,0 (L \text{ atau } 0,5 W)$
4. Kombinasi 4 $U = 1,2 DL + 1,0 W + 1,0 LL + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
5. Kombinasi 5 $U = 1,2 D + 1,0 E + L$

6. Kombinasi 6 $U = 0,9 D + 1,0 W$

7. Kombinasi 7 $U = 0,9 D + 1,0 E$

Keterangan :

U = Beban Ultimit

R = Beban Hujan

D = Beban Mati

E = Beban Gempa

L = Beban Hidup

W = Beban Angin

Lr = Beban hidup atap tereduksi

2.5 Desain Awal (*Preliminary Design*)

Setelah mengetahui pembebanan yang bekerja pada struktur, langkah selanjutnya adalah melakukan *preliminary design*. *Preliminary design* adalah desain awal atau estimasi jenis material, mutu material, serta dimensi material yang akan digunakan untuk membentuk struktur.

Kapasitas kekuatan dari *preliminary design* dihitung berdasarkan standar desain yang berlaku sehingga didapatkan besarnya kapasitas struktur. Besarnya nilai kapasitas ini dibandingkan dengan gaya dalam ultimate yang didapatkan dari kombinasi pembebanan yang terjadi pada struktur.

Jika besarnya kapasitas lebih kecil daripada gaya dalam ultimate maka diperlukan perbesaran penampang atau hal-hal lain yang dapat memperbesar kapasitas struktur yang telah disebutkan sebelumnya. Jika besarnya kapasitas lebih besar daripada gaya dalam ultimate, maka desain tersebut dapat digunakan dalam proses konstruksi.

Namun, selisih nilai gaya kapasitas dengan gaya dalam jangan dibuat terlalu jauh karena akan menyebabkan keborosan dari struktur sehingga membuat anggaran biaya proyek menjadi besar. Kapasitas yang dimaksud disini adalah

kapasitas aksial, geser, lentur, ataupun torsi. Besarnya kapasitas aksial dibandingkan dengan gaya dalam aksial ultimate, besarnya kapasitas lentur dibandingkan dengan gaya dalam lentur ultimate, dan seterusnya.

2.5.1 Preliminary Design Pelat Baja Komposit

Syarat tebal pelat minimum menurut SNI 2847-2013 Pasal 9.5.3 adalah sebagai berikut :

- a. Untuk $a_{fm} < 0,2$ ketebalan pelat minimum adalah sebagai berikut ini :
 1. Pelat tanpa penebalan : 120 mm
 2. Pelat dengan penebalan : 100 mm
- b. Untuk $0,2 < a_{fm} < 2$ ketebalan pelat minimum harus memenuhi persamaan sebagai berikut ini :

$$h = \frac{l_n \left(0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(a_{fm} - 0.2)} \quad (2.13)$$

Dan tidak boleh kurang dari 125 mm.

- c. Untuk $a_{fm} > 2,0$ ketebalan pelat minimum harus memenuhi persamaan sebagai berikut ini :

$$h = \frac{l_n \left(0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad (2.14)$$

Dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

Dengan :

H = tebal pelat minimum (cm)

Fy = tulangan leleh baja tulangan (Mpa)

A = 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.

a_{fm} = nilai rata-rata a untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu panel.

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

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

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

$$\alpha = \frac{E_{cb}I_b}{E_{cp}I_p} \quad (2.15)$$

Dengan :

E_{cb} = modulus elastisitas balok beton

E_{cp} = modulus elastisitas pelat beton

I_b = momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok

I_p = momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat.

2.5.2 Preliminary Design Balok

Penentuan dimensi awal profil balok ditentukan oleh persamaan berikut :

$$\frac{M_u}{\phi} = M_n \quad (2.16)$$

Dengan asumsi tegangan baja mencapai tegangan plastis :

$$M_n = Z_p f_y \quad (2.17)$$

Maka, dari nilai Z_p didapat rencan awal dimensi balok :

$$Z_p = \frac{Mn}{f_y} \quad (2.18)$$

Dimana :

M_u = momen ultimate beban

ϕ = faktor reduksi lentur

M_n = momen nominal

Z_p = momen tahan plastis

f_y = tegangan leleh baja

2.5.3 Preliminary Design Kolom

Penentuan dimensi awal profil kolom ditentukan oleh persamaan berikut :

$$\frac{P_u}{\phi} = P_n \quad (2.19)$$

Dengan asumsi tegangan baja mencapai tegangan plastis :

$$A = \frac{P_n}{f_y} \quad (2.20)$$

Maka dari nilai A didapat rencana awal dimensi kolom :

$$A = \frac{P_n}{f_y} \quad (2.21)$$

Dimana :

P_u = gaya aksial ultimate beban

ϕ = faktor reduksi gaya aksial tekan

P_n = momen nominal

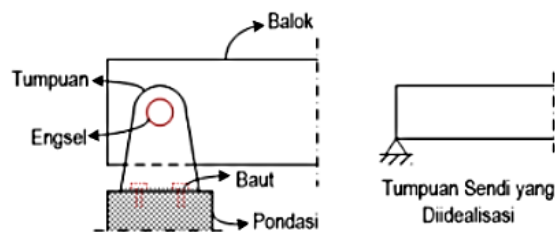
A = luas penampang

2.6 Analisis Struktur

2.6.1 Jenis Tumpuan

2.6.1.1 Sendi

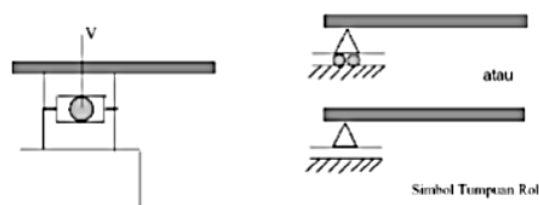
Tumpuan sendi sering disebut dengan engsel karena cara bekerja mirip dengan cara kerja engsel. Tumpuan sendi mampu memberikan reaksi arah vertikal dan horizontal, artinya tumpuan sendi dapat menahan gaya vertikal dan horizontal atau dengan kata lain terdapat 2 buah variabel yang akan diselesaikan (R_v dan R_h).



Gambar 2.6 Tumpuan Sendi

2.6.1.2 Rol

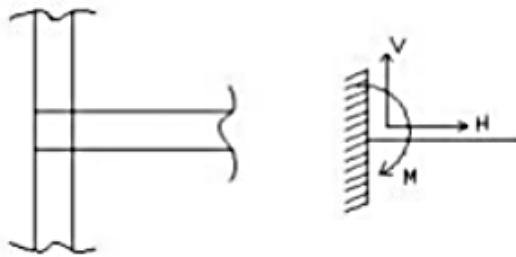
Tumpuan rol adalah tumpuan yang dapat bergeser ke arah horizontal sehingga tumpuan ini tidak dapat menahan gaya horizontal. Tumpuan rol hanya mampu memberikan reaksi arah vertikal, artinya tumpuan hanya dapat menahan gaya vertikalnya saja, sehingga hanya terdapat 1 buah variabel yang akan diselesaikan (R_v saja).



Gambar 2.7 Tumpuan Rol

2.6.1.3 Jepit

Tumpuan jepit bisa dikonstruksikan seperti misalnya balok yang ditanam dalam tembok atau sebagai tumpuan pada balok terusan (jepitan elastis). Tumpuan jepit dapat memberikan reaksi atau tahanan terhadap gaya horizontal, vertikal dan bahkan mampu memberikan reaksi terhadap putaran momen. Sehingga pada tumpuan jepit terdapat 3 buah variabel yang harus diselesaikan (R_v , R_h , dan Momen).



Gambar 2.8 Tumpuan Jepit

2.6.2 Struktur Statis Tentu

Struktur statis tentu merupakan suatu struktur yang mempunyai kondisi dimana jumlah reaksi perletakkannya sama dengan jumlah syarat kesetimbangan statika. Menurut (Wigroho, 1999: 4) Tujuan analisis struktur ialah untuk menentukan berbagai aksi pada struktur, seperti reaksi tumpuan dari resultan tegangan (momen lentur, gaya geser, dan sebagainya). Penyelesaian yang tepat untuk besaran tersebut harus memenuhi syarat keseimbangan statis:

Struktur 2 Dimensi :

3 Syarat Keseimbangan yaitu,

$$\sum F_x = 0 ; \sum F_y = 0 ; \sum F_z = 0$$

Struktur 3 dimensi :

6 Syarat Keseimbangan yaitu,

$$\sum F_x = 0 ; \sum F_y = 0 ; \sum F_z = 0$$

$$\sum M_x = 0 ; \sum M_y = 0 ; \sum M_z = 0$$

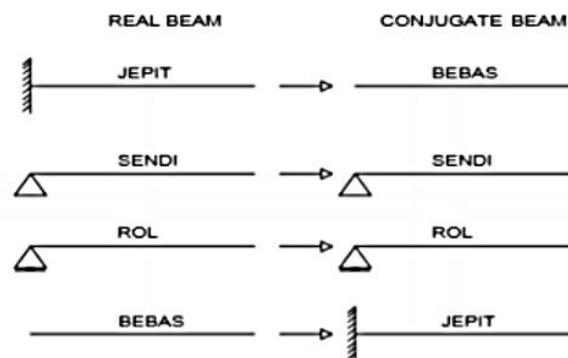
2.6.3 Struktur Statis Tak Tentu

Suatu sistem struktur dapat dikategorikan sebagai stuktur statis tak tentu apabila jumlah reaksi perletakan atau gaya – gaya dalamnya melebihi jumlah persamaan kesetimbangan yang ada untuk dipergunakan dalam proses analisis (Setiawan, 2015).

2.6.3.1 Metode Conjugate Beam

Menurut (Harsokusumo, 1999: IV-1) metoda conjugate beam adalah dengan menganggap bidang momen akibat beban yang bekerja pada balok merupakan beban yang bekerja pada balok fiktif yang sifat baloknya identik dengan balok asli. Tahapan penyelesaian dengan metode conjugate beam;

1. Hitung dan gambarkan bidang momen akibat beban luar pada balok sebenarnya (real beam)
2. Hasil bidang momen (M/EI) di jadikan beban pada balok conjugate (imaginary beam) , dimana perletakan aktual dirubah menjadi perletakan pada balok imajinari sesuai ketentuan dibawah ini :



Gambar 2.9 Ketentuan Conjugate Beam Boundary Condition

3. Menghitung gaya geser (shear) pada balok conjugate yang merupakan nilai slope pada balok sebenarnya. - Menghitung momen (moment) pada balok conjugate yang merupakan nilai deflection pada balok sebenarnya.

2.6.3.2 Metode Slope Deflection

Menurut (Wigroho, 1999 :36) Metode Slope Deflection, atau sering disebut dengan Metode Defleksi Lereng. Pada prinsipnya Metode Slope Deflection ialah metode untuk menentukan momen-momen ujung batang pada portal (frame).

Beberapa anggapan pada analisis struktur dengan Metode Slope Deflection ialah :

1. Semua joint dihubungkan secara kaku (rigid);
2. Sudut pada pertemuan batang besarnya tetap sama setelah mengalami rotasi akibat pembebanan dan sebelum adanya pembebanan (gambar III.1);
3. Perubahan akibat gaya aksial dan akibat gaya geser diabaikan;
4. Rotasi-rotasi pada joint besarnya belum diketahui, yang merupakan bilangan anual yang harus dihitung;
5. Jumlah momen ujung pada setiap joint sama dengan nol ($\Sigma M = 0$), kecuali pada tumpuan yang berdiri sendiri.

Pada setiap penampang batang akan terjadi gaya aksial, momen dan gaya geser. Karena pengaruh gaya aksial dan gaya geser diabaikan, maka untuk analisis struktur yang dominan adalah pengaruh momen lentur.

2.6.3.3 Metode Persamaan Tiga Momen

Pada suatu struktur balok dan portal, sambungan antara batang-batang pada struktur tersebut diasumsikan sebagai sambungan kaku, dimana dalam sambungan kaku harus dipenuhi dua persyaratan yaitu :

1. Keseimbangan jumlah momen batang-batang yang bertemu pada sebuah titik simpul yang disambung secara kaku sama dengan nol

$$(\sum MT_i = 0 \text{ n } i=1)$$

2. Kestabilan : rotasi batang-batang yang bertemu pada sebuah titik simpul yang disambung secara kaku sama besar dan arahnya

$$(\theta_{T1} = \theta_{T2} = \dots \theta_{T3})$$

Untuk menentukan apakah sebuah struktur dapat bergoyang atau tidak, dapat dilihat dari teori sebagai berikut :

1. Suatu titik simpul mempunyai dua kemungkinan arah pergerakan, yaitu vertikal dan horizontal.
2. Perletakan jepit dan perletakan sendi tidak dapat bergerak vertikal maupun horizontal, sedangkan perletakan rol dapat bergerak hanya pada satu arah yaitu searah bidang perletakan.
3. Batang dibatasi oleh dua titik simpul, sehingga pergerakan titik simpul searah batang sama.

Untuk menghitung variabel yang ada, disusun persamaan-persamaan sejumlah variabel yang ada, dari dua ketentuan syarat sambungan kaku seperti yang disebutkan diatas yaitu :

1. Jumlah momen-momen batang yang bertemu pada satu titik simpul sama dengan nol.
2. Rotasi batang-batang yang bertemu pada satu titik sama, besar dan arahnya.

Dan kalau ada variabel Δ perlu persamaan keseimbangan struktur.

2.7 Perencanaan Struktur Atas

2.7.1 Perencanaan Atap

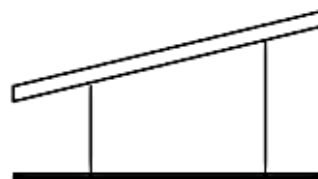
Atap merupakan bagian dari bangunan gedung (rumah) yang letaknya berada dibagian paling atas, yang berfungsi sebagai penutup/pelindung bangunan dari panas terik matahari dan hujan sehingga memberikan kenyamanan bagi penggunaan bangunan, untuk perencanaannya atap ini haruslah diperhitungkan dan harus mendapat perhatian yang khusus dari perencana (arsitek). Karena dilihat dari penampakannya ataplah yang paling pertama kali terlihat oleh pandangan setiap yang memperhatikannya. Untuk itu dalam merencanakan bentuk atap harus mempunyai daya artistik. Bisa juga dikatakan bahwa atap merupakan mahkota dari suatu bangunan rumah.

2.7.1.1 Bentuk Model Atap

Bentuk atau model konstruksi atap bermacam-macam sesuai dengan peradaban dan perkembangan teknologi serta sesuai dengan segi arsitekturnya. Bentuk model atap ada beberapa macam yaitu :



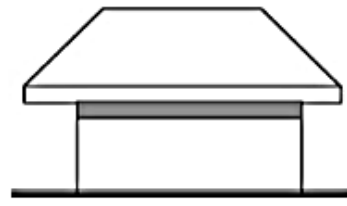
Gambar : Atap Datar



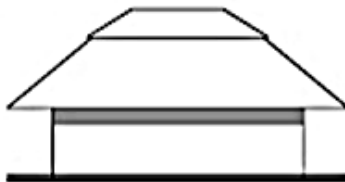
Gambar : Atap Sandar



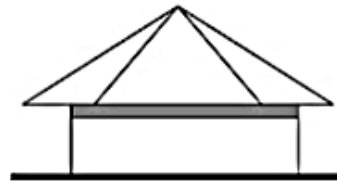
Gambar : Atap Pelana



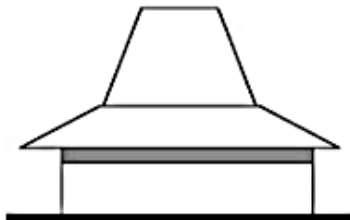
Gambar : Atap Perisai



Gambar : Atap Masard



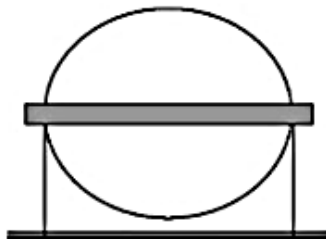
Gambar : Atap Masard



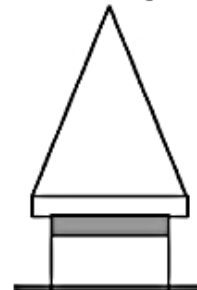
Gambar : Atap Joglo



Gambar : Atap Gergaji



Gambar : Atap Kubah



Gambar : Atap Kerucut

Gambar 2.10 Bentuk Model Atap

2.7.1.1 Pembebanan Atap

1. Beban Mati

Beban mati dalam pembebanan atap adalah berat seluruh bahan konstruksi rangka atap yang terpasang. Termasuk di dalamnya berat penutup atap serta berat sendiri rangka atap tersebut.

2. Beban Hidup

Beban hidup dalam pembebanan atap adalah beban pekerja yang melakukan pekerjaan pemasangan rangka atap saat proses konstruksi dilakukan. Beban ini adalah beban yang terdiri dari seorang yang bekerja beserta peralatannya, direncanakan sebesar 100 kg.

3. Beban Angin

Menurut SNI 1729 1989 tentang Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung besarnya tekanan angin tiup harus diambil minimum sebesar 25 kg/m².

Menurut SNI 1727 2013 tentang tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain penentuan tekanan angin desain P ditentukan dengan persamaan :

$$P = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \quad (2.22)$$

dengan,

P = Tekanan angin desain (N/m²)

q = Tekanan velositas dinding angin datang (q_z) yang diukur pada ketinggian z , atau tekanan velositas dinding/atap lainnya (q_h) yang diukur pada ketinggian h (N/m²)

q_i = Tekanan velositas untuk mengevaluasi tekanan internal positif/negatif pada semua permukaan yang secara konservatif diambil senilai (q_h) yang diukur pada ketinggian h (N/m²)

G = Koefisien faktor efek tiupan angin

C_p = Koefisien tekanan eksternal

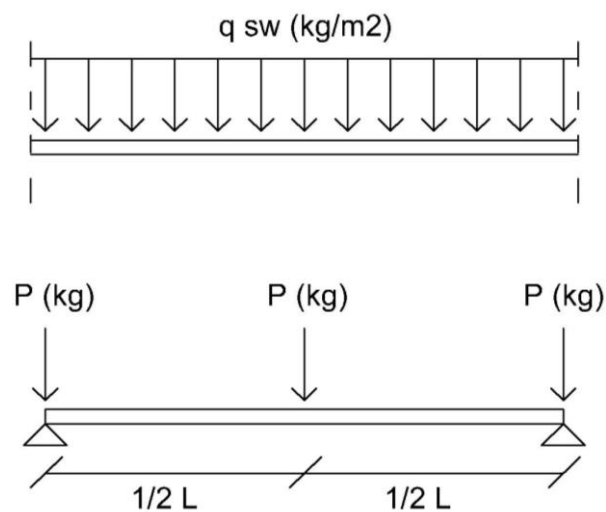
GC_{pi} = Koefisien tekanan internal

4. Distribusi Pembebanan

a. Pembebanan tahap konstruksi

Pembebanan tahap konstruksi meliputi berat sendiri gording dan berat pekerja. Berat pekerja perlu ditinjau dari dua keadaan :

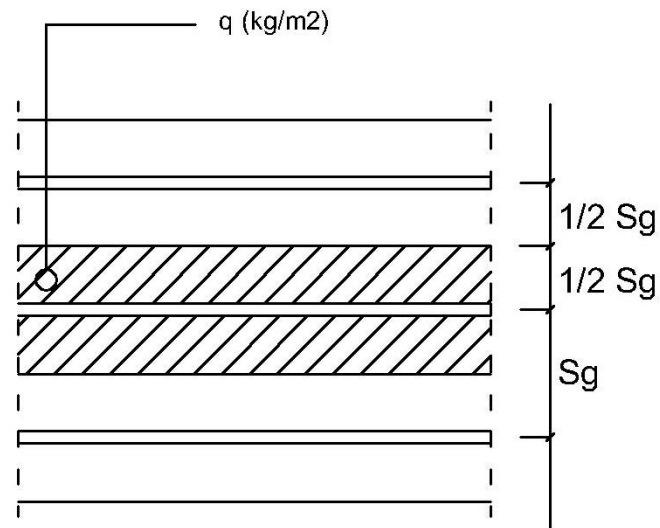
- Bekerja 1 orang di tengah-tengah bentang.
- Bekerja 2 orang bersebelahan di ujung bentang.



Gambar 2.11 Pembebanan pada Gording

b. Pembebanan tahap layan

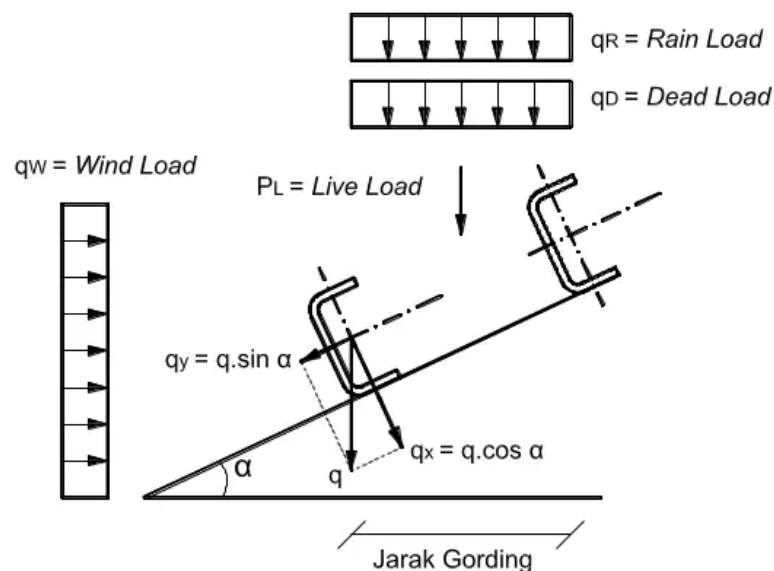
Pembebanan tahap layan meliputi berat sendiri gording, beban hidup, beban angin dan hujan. Karena penutup atap sudah terpasang pada tahap ini, maka beban merupakan beban area dimana memiliki beban kg per satuan luasan atap. Beban ini terdistribusi ke gording sebagai beban area. Selanjutnya terdistribusi ke kuda kuda sebagai beban terpusat. Beban area tersebut terdistribusi merata pada gording seperti gambar dibawah ini :



Gambar 2.12 Distribusi Beban pada Gording

Distribusi beban pada gording dimana beban area q_a (kg/m^2) jika dilakukan analisis 2 dimensi maka harus dikonversi ke satuan q (kg/m). Konversi ini dengan mengalikan beban area q_a (kg/m^2) dengan jarak antar gording S_g (m).

Sedangkan untuk beban pada kuda kuda perlu diuraikan ke dalam beban arah sumbu horizontal dan vertikal seperti gambar dibawah ini :



Gambar 2.13 Penguraian beban pada gording

5. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban terfaktor yang digunakan dalam metode desain kekuatan berdasarkan SNI 1727 2013 tentang tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain, antara lain :

Kombinasi dasar :

$$\text{Kombinasi 1} = 1,4 \text{ DL}$$

$$\text{Kombinasi 2} = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} + 0,5 \text{ R}$$

Kombinasi dengan beban angin :

$$\text{Kombinasi 3} = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} + 0,8 \text{ W U-S}$$

$$\text{Kombinasi 4} = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} + 0,8 \text{ W S-U}$$

$$\text{Kombinasi 5} = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} + 0,8 \text{ W T-B}$$

$$\text{Kombinasi 6} = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} + 0,8 \text{ W B-T}$$

Kombinasi dengan beban angin dan hujan :

$$\text{Kombinasi 7} = 1,2 \text{ DL} + 1,3 \text{ LL} + 0,5 \text{ W U-S} + 0,5 \text{ R}$$

$$\text{Kombinasi 8} = 1,2 \text{ DL} + 1,3 \text{ LL} + 0,5 \text{ W S-U} + 0,5 \text{ R}$$

$$\text{Kombinasi 9} = 1,2 \text{ DL} + 1,3 \text{ LL} + 0,5 \text{ W T-B} + 0,5 \text{ R}$$

$$\text{Kombinasi 10} = 1,2 \text{ DL} + 1,3 \text{ LL} + 0,5 \text{ W B-T} + 0,5 \text{ R}$$

Kombinasi dengan beban angin :

$$\text{Kombinasi 11} = 0,9 \text{ DL} + 1,3 \text{ W U-S}$$

$$\text{Kombinasi 12} = 0,9 \text{ DL} + 1,3 \text{ W S-U}$$

$$\text{Kombinasi 13} = 0,9 \text{ DL} + 1,3 \text{ W T-B}$$

$$\text{Kombinasi 14} = 0,9 \text{ DL} + 1,3 \text{ W B-T}$$

2.7.1.1 Desain Batang Lentur

Suatu balok dengan dua tumpuan yang menerima pembebanan akan mengalami gaya-gaya seperti momen dan geser. Oleh karena itu, maka suatu balok harus ditinjau dari :

1. Stabilitas terhadap tekuk lateral

Kuat komponen struktur dalam memikul momen lentur tergantung dari panjang bentang antara dua penggekan lateral yang berdekatan. Batas-batas bentang pengekan lateral (L) ditentukan sebagai berikut :

- a. Bentang pendek $L < L_p$ (Zona I)

$$L_p = 1,76r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.23)$$

Dengan,

$$r_y = \sqrt{\frac{I_g}{A}} \quad (2.24)$$

Menurut SNI 1729 2002 untuk komponen struktur yang memenuhi $L < L_p$ kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah $M_n = M_p$. Dalam kasus perhitungan disini menggunakan bentang pendek. Jika $L < L_p$ maka penampang sudah kuat terhadap tekuk lateral. Jika tidak maka perlu diberikan pengaku antara jarak sama dengan atau kurang dari L_p .

- b. Bentang menengah $L_p < L < L_r$ (Zona II)

Untuk komponen struktur yang memenuhi $L_p < L < L_r$, kuat nominal komponen struktur terhadap lentur adalah:

$$M_n = C_b \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{L_r - L}{L_r - L_p} \right] \leq M_p \quad (2.25)$$

Dengan,

$$C_b = \frac{12,5 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3M_a + 4M_b + 3M_c} \leq 2,3 \quad (2.26)$$

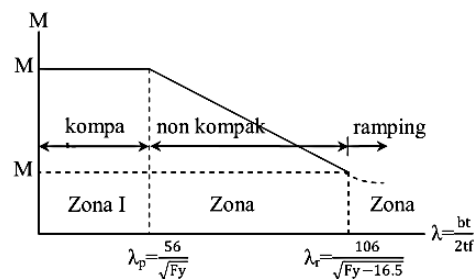
Dimana, M_{max} adalah momen maksimum bentang yang ditinjau dan M_A , M_B , M_C adalah momen $\frac{1}{4}$ bentang, tengah bentang dan $\frac{3}{4}$ bentang.

- c. Bentang panjang $L > L_r$ (Zona III)

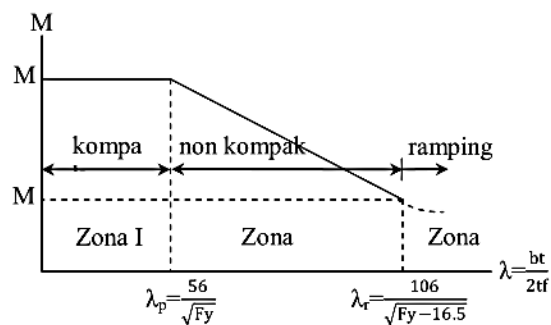
Untuk komponen struktur yang memenuhi $L_r < L$, kuat nominal komponen struktur terhadap lentur adalah $M_n = M_{cr} < M_p$

2. Stabilitas terhadap tekuk lokal

Sebelum memperhitungkan kekuatan momen nominal, suatu balok harus ditinjau terlebih dahulu kestabilan lateralnya. Desain harus memperhitungkan fakta bahwa tekuk local flens tekan atau tekuk local badan dapat terjadi sebelum mencapai regangan tekan yang besar diperlukan untuk menimbulkan M_p .



Gambar 2.14 Keadaan Batas Tekuk Lokal Sayap



Gambar 2.15 Keadaan Batas Tekuk Lokal Badan

Balok dengan dimensi yang secara lateral stabil disebut Penampang Kompak
 syarat Penampang Kompak :

- a. Perbandingan lebar flens terhadap tebal flens :

$$\lambda_f = \frac{bf/2}{t_f} < \lambda_{pf} = \frac{170}{\sqrt{f_y}} \text{ dalam MPa}$$

- b. Perbandingan lebar badan terhadap badan tebal :

$$\lambda_w = \frac{hw}{tw} = \frac{h-(2t_f)}{tw} < \lambda_{pw} = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \text{ dalam MPa}$$

Dimana :

t_f = tebal pelat sayap (flens) penampang (cm)

bf = lebar pelat sayap (flens) penampang (cm)

hw = tinggi bersih pelat penampang (cm)

λ_f = rasio kerampingan pada sayap (flens)

λ_{pf} = rasio kerampingan maksimum pada flens untuk elemen kompak

λ_w = rasio kerampingan pada badan (web)

λ_{pw} = rasio kerampingan maksimum pada web untuk elemen kompak

f_y = tegangan leleh

3. Kekuatan momen nominal

Persyaratan kekuatan untuk balok pada sesain faktor beban dan resistensi menurut LRFD-F2 dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\phi M_n > M_u$$

Dimana,

ϕ = faktor resistensi (yakni reduksi kekuatan) untuk lentur = 0,90

M_n = kekuatan momen nominal

M_u = momen beban layanan terfaktor

Untuk penampang kompak,

$$M_n = M_p = Z \cdot F_y$$

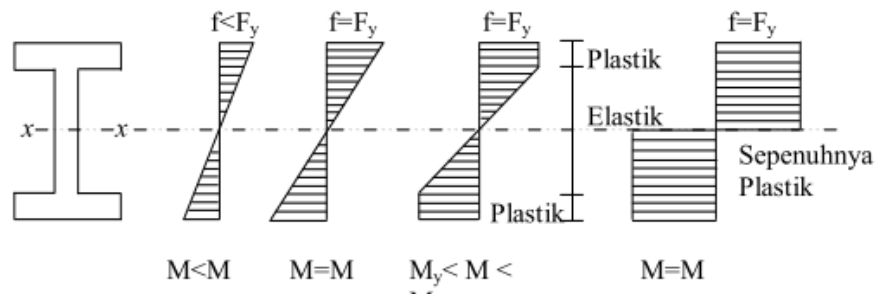
(2.27)

Dimana,

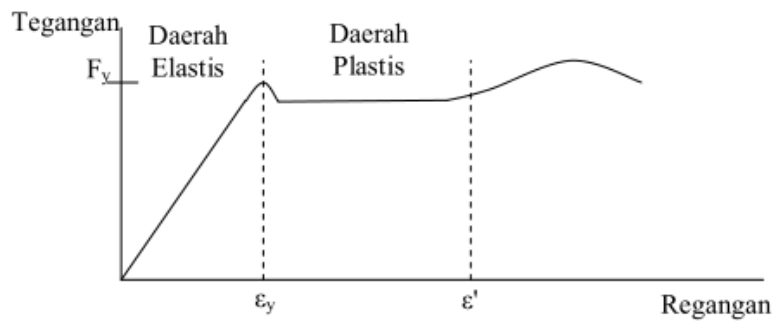
M_p = kekuatan nominal plastic

Z = modulus plastic

F_y = tegangan leleh yang ditentukan



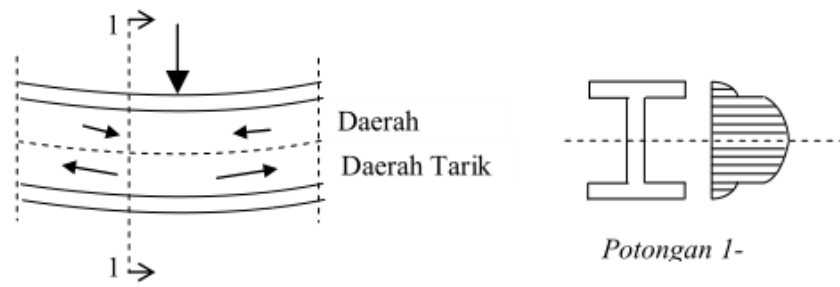
Gambar 2.16 Distribusi tegangan pada berbagai tahap



Gambar 2.17 Diagram tegangan dan regangan

4. Kekuatan geser nominal

Dalam keadaan terlentur, suatu balok akan mengalami gaya geser. Gaya geser terbesar terjadi pada sumbu balok tersebut. Balok dengan beban terpusat yang mengalami lenturan sehingga mengakibatkan timbulnya daerah tekan dan tarik.



Gambar 2.18 Perilaku balok dalam gaya geser

Menurut SNI 1729 2002 Pasal 8.8.2 kuat geser nominal (V_n) pelat badan harus diambil seperti yang ditentukan di bawah ini :

a. Untuk Zona I memenuhi : $\frac{h}{tw} \leq 1,10 \sqrt{\frac{kn.E}{fy}}$

Maka kuat geser nominal pelat badan,

$$\phi V_n = 0,6 \cdot fy \cdot Aw \quad (2.28)$$

Dimana :

V_n = kekuatan nominal dalam geser

F_y = tegangan leleh

A_w = luas badan

b. Untuk Zona II memenuhi : $1,10 \sqrt{\frac{kn.E}{fy}} \leq \frac{h}{tw} \leq 1,37 \sqrt{\frac{kn.E}{fy}}$

Maka kuat geser nominal pelat badan,

$$\phi V_n = 0,6 \cdot fy \cdot Aw \left[1,10 \sqrt{\frac{kn.E}{fy}} \right] \frac{1}{\left(\frac{h}{tw}\right)} \quad (2.29)$$

c. Untuk Zona III : $1,37 \sqrt{\frac{kn.E}{fy}} \leq \frac{h}{tw}$

Maka kuat geser nominal pada badan,

$$\phi V_n = \frac{0,9 \cdot A_w \cdot k_n \cdot E}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2} \quad (2.30)$$

dengan,

$$k_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \quad (2.31)$$

dimana :

k_n = 5 apabila tidak dipasang pengaku vertikal

h = tinggi balok berdinding penuh (cm)

t_w = tebal pelat badan (cm)

a = jarak antara dua pengaku vertikal (cm)

A_w = luas pelat badan (cm²)

Dalam perencanaan harus diperhitungkan :

$$\phi \cdot V_n > V_u \quad (2.32)$$

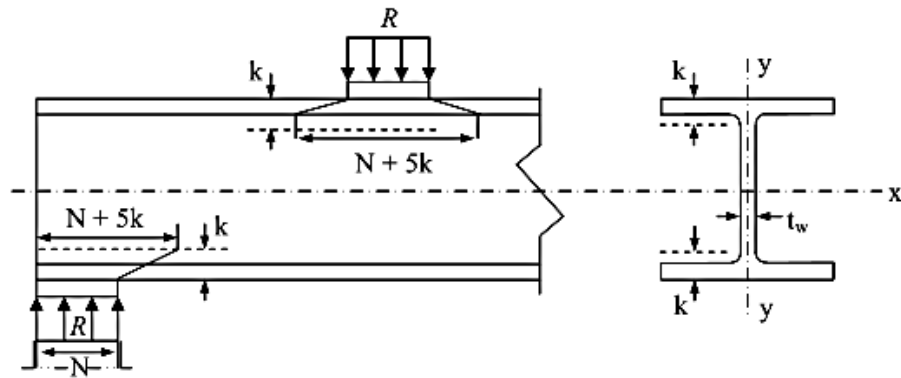
dengan,

ϕ = faktor reduksi (yakni reduksi kekuatan) untuk geser = 0,90

V_u = beban geser layanan terfaktor

5. Stabilitas terhadap gaya tekan tumpu

Bila beban terpusat dikenakan pada balok yang terletak pada tumpuan reaksi dari flens balok pada sambungan ke kolom, pelelehan setempat akan terjadi di dekat beban terpusat tersebut dari tegangan tekan yang tinggi yang diikuti tekuk tak elastic pada daerah badan yang berdekatan dengan rumit filel.



Gambar 2.19 Balok yang menerima gaya tekan tumpu

Menurut SNI 1729 2002 Pasal 8.10.1 gaya tumpu perlu (R_u) pada pelat badan harus memenuhi :

$$R_u \leq \phi R_b \quad (2.33)$$

Keterangan:

Φ = faktor reduksi

R_b = kuat tumpu nominal pelat badan akibat beban terpusat atau setempat, yang harus diambil nilai yang terkecil dari kuat tumpu.

- a. Kuat tumpu leleh pelat sayap (SNI 1729 2002 Pasal 8.10.2)

Kuat tumpu terhadap lentur pelat sayap adalah :

$$R_b = 6,25 t f^2 \cdot f y \quad (2.34)$$

dengan t_f adalah tebal pelat sayap yang dibebani gaya tekan tumpu.

- b. Kuat tumpu leleh pelat badan (SNI 1729 2002 Pasal 8.10.3)

Kuat tumpu terhadap leleh suatu pelat badan adalah :

- a) bila jarak beban terpusat terhadap ujung balok lebih besar dari tinggi balok;

$$R_b = (5k + N) f y \cdot t_w \quad (2.35)$$

b) bila jarak beban terpusat terhadap ujung balok lebih kecil atau sama dengan tinggi balok;

$$R_b = (2,5k + N) f_y \cdot t_w \quad (2.36)$$

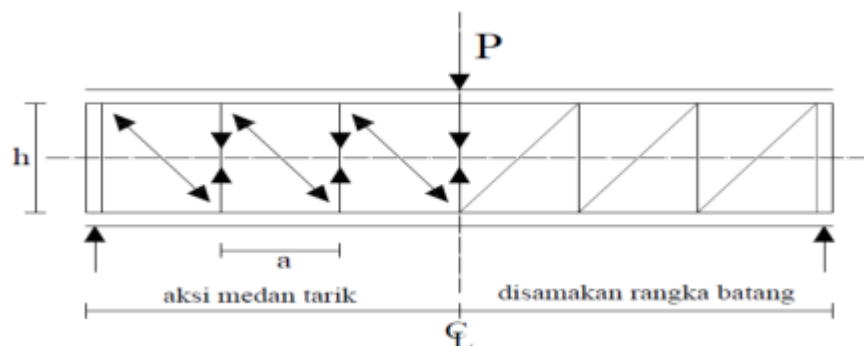
Keterangan:

k = tebal pelat sayap ditambah jari-jari peralihan, mm

N = dimensi longitudinal pelat perletakan atau tumpuan, minimal sebesar k , mm

6. Stabilitas terhadap aksi medan tarik

Gelagar pelat biasanya didesain dengan disertai pengaku antara (intermediate stiffener) seperti terlihat pada gambar dibawah ini. Kedua parameter stabilitas untuk badan gelagar adalah h/t_w dan a/h . Tekuk yang diakibatkan geser dapat dihindari bila parameter-parameter stabilitas ini dipertahankan cukup rendah; atau tegangan geser dapat dipertahankan dibawah tegangan tekuk kritis τ_{cr} . Karena balok tempa dimiliki rasio h/t_w yang rendah, tekuk yang diakibatkan geser tidak akan terjadi. Bila jarak antar pengaku a membuat a/t_w cukup rendah dan ukurannya cukup memungkinkan, mereka bekerja sebagai elemen vertikal tekan dalam sebuah rangka (truss). Kekuatan paska tekuk (aksi medantarik) akan tersedia dan dapat dimanfaatkan dalam desain.



Gambar 2.20 Aksi Medan Tarik

Jika $h/tw < 260$ dan $Vn < Cv (0,6 Fy) \cdot Aw$

Maka pengaku tidak diperlukan. Persamaan diatas logisnya berlaku untuk situasi-situasi dengan dan tanpa pengaku antara bila sasarannya adalah untuk mencegah tekuk yang diakibatkan oleh geser.

Ada 2 kuat tekuk geser (Vn) :

- a. Kuat tekuk geser elasto-plastis (SNI 1729 2002 Pasal 8.8.4) :

Kuat tekuk geser elasto-plastis pelat badan adalah

$$\phi Vn = 0,6 \cdot fy \cdot Aw \left[Cv + \frac{1 - Cv}{1,15 \sqrt{1 + \left(\frac{a}{h}\right)^2}} \right] \quad (2.37)$$

dengan,

$$Cv = 1,10 \frac{\sqrt{kn \cdot E / fy}}{\left(\frac{h}{tw}\right)} \quad (2.38)$$

- b. Kuat tekuk geser elastik (SNI 1729 2002 Pasal 8.8.5) :

Kuat tekuk geser elastis adalah

$$\phi Vn = 0,6 \cdot fy \cdot Aw \left[Cv + \frac{1 - Cv}{1,15 \sqrt{1 + \left(\frac{a}{h}\right)^2}} \right] \quad (2.39)$$

dengan,

$$Cv = 1,5 \frac{kn \cdot E}{fy} \frac{1}{\left(\frac{h}{tw}\right)^2} \quad (2.40)$$

7. Kekuatan terhadap interaksi geser dan lentur

Menurut peraturan SNI 1729 2002 Pasal 8.9.3, Jika momen lentur dianggap dipikul oleh seluruh penampang, maka balok harus direncanakan untuk memikul kombinasi lentur dan geser yaitu:

2.7.1.1 Desain Batang Tarik

Material baja mempunyai kemampuan sama dengan memikul gaya tarik atau gaya tekan. Mutu bahannya juga relatif tinggi, sehingga dimensi struktur cenderung langsing. (Dewobroto dalam Eva, 2020:27)

Untuk struktur seperti itu, pemakaian material baja hanya efisien untuk batang tarik. Pada batang tekan kapasitasnya ditentukan oleh tekuk (buckling), suatu permasalahan stabilitas yang dipengaruhi konfigurasi geometri (struktur penampang) dan tidak hanya materialnya saja.

1. Pembatasan Kelangsingan

Karena mutu material baja relatif tinggi, dimensi batang tariknya bisa sangat langsing. Secara teoritis, kondisi kelangsingan hanya diperhitungkan untuk elemen tekan, untuk mengantisipasi tekuk. Batang tarik secara teoritis tidak mengalami tekuk, oleh karena itu batang tarik tidak dibatasi kelangsingannya, hanya disarankan $L/r \leq 300$. Saran didasarkan pengalaman praktis segi ekonomis, kemudahan pembuatan, dan risiko rusak yang kecil selama konstruksi.

2. Tahanan Nominal Tarik

Kuat tarik rencana ϕP_n , dengan ϕ sebagai faktor ketahanan tarik dan P_n sebagai aksi nominal, adalah nilai terkecil dari dua tinjauan batas keruntuhan yang terjadi pada penampang utuh dan penampang berlubang (tempat sambungan).

Kuat tarik penampang utuh terhadap keruntuhan :

$$P_u \leq \phi P_n \quad (2.41)$$

Dengan :

$$P_n = f_y \times A_g \quad (2.42)$$

Dimana :

ϕ = 0,9 terhadap keruntuhan leleh

A_g = luas penampang bruto (gross)

Kuat tarik penampang berlubang (ditempat sambungan) akan memanfaatkan perilaku strain-hardening (peningkatan tegangan) pada kondisi regangan inelastis yang dipicu oleh lonjakan tegangan terkonsentrasi di sekitar lubang.

$$P_n = f_u \times A_e = f_u \times A_n \times U \quad (2.43)$$

Dimana :

ϕ = 0,75 terhadap keruntuhan fraktur

A_n = luas penampang bersih (netto)

A_e = luas penampang efektif

U = faktor shear lag

Nilai f_y dan f_u tergantung dari mutu material, yaitu kuat leleh dan kuat tarik minimum (kuat batas) dari bahannya. Keruntuhan leleh (yield) tingkat daktilitasnya lebih tinggi dari keruntuhan fraktur, oleh sebab itu maka faktor ketahanan tarik ϕ antara keduanya berbeda. Faktor keamanan untuk fraktur tentunya lebih tinggi.

2.7.1.2 Desain Batang Tekan

Batang tekan adalah komponen struktur yang memikul beban terpusat pada titik berat penampangnya. Namun pada kenyataannya, terdapat eksentrisitas oleh ketidaklurusan batang, atau oleh ketidaktepatan pembebanan, juga kekangan dari tumpuannya yang menimbulkan momen. Jika momen tersebut relatif kecil sehingga dapat diabaikan, maka prosedur desain batang tekan dapat diaplikasikan. (Dewobroto dalam Eva, 2020:43)





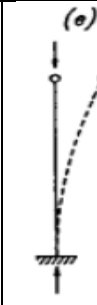
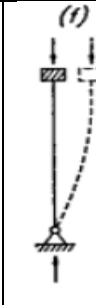





Panjang efektif dari komponen struktur tekan (L_c) digunakan untuk menghitung kelangsingan batang tekan (L_c/r). Nilai dari L_c ditentukan oleh faktor panjang efektif (K).

$L_c = KL =$ Panjang efektif batang tekan

$r =$ Radius girasi = $\sqrt{\frac{i \min}{A}}$

Nilai faktor panjang efektif atau juga dikenal dengan faktor panjang tekuk (K) dipengaruhi oleh jenis tumpuan dan panjang batang elemen struktur yang mengalami gaya aksial tekan, yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2.19 Faktor Panjang Efektif (K)

Garis putus putus menunjukkan diagram kolom tekuk						
K teoritis	0,50	0,70	1,00	1,00	2,00	2,00
K desain	0,65	0,80	1,20	1,00	2,10	2,00
Jenis Tumpuan	 <ul style="list-style-type: none">  Jepit  Sendi  Roll tanpa putaran sudut  Ujung bebas 					

Sumber : SNI 1729 2002, (Badan Standarisasi Nasional, 2002)

2.7.1.1 Gording

Gording dianggap sebagai balok diatas dua perletakan sendi pada balok WF dalam arah tegak lurus bidang atap. Gording memikul beban gravitasi yang menerima gaya normal tekan akibat beban angin, beban atap dan beban sendiri gording.

2.7.1.1 Batang Tarik (Trackstang)

Kita ketahui bahwa sumbu y gording adalah sumbu lemah, sehingga akibat uraian gaya dalam arah sumbu y maka gording akan melentur besar. Untuk memperkecil lendutan arah y yang terjadi maka kita pasang trackstang yang menghubungkan antar gording.

1. Kontrol syarat diameter minimum

$$D > \frac{L}{500}$$

Dengan,

D = Diameter Besi Ikatan Angin

L = Panjang Ikatan Angin

2. Kontrol Tegangan

$$\sigma = \frac{P}{A} \leq fy$$

Dengan,

P = Gaya Aksial Tarik

A = Luas Penampang Ikatan Angin

2.7.1.1 Ikatan Angin

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

1. Kontrol syarat diameter minimum

$$D > \frac{L}{500}$$

Dengan,

D = Diameter Besi Ikatan Angin

L = Panjang Ikatan Angin

2. Kontrol Tegangan

$$\sigma = \frac{P}{A} \leq fy$$

Dengan,

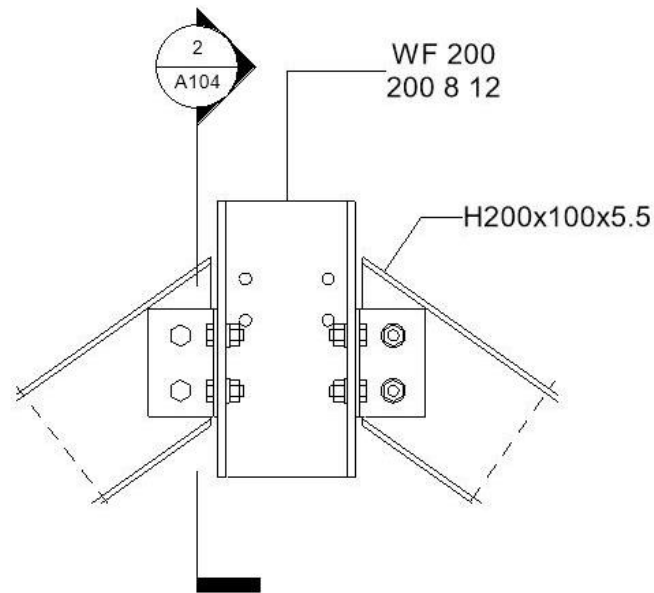
P = Gaya Aksial Tarik

A = Luas Penampang Ikatan Angin

2.7.1.1 Sambungan Kuda Kuda

Perhitungan sambungan hanya pada kuda-kuda WF, meliputi sambungan balok-kolom, balok-balok dan kolom (baja) – kolom (beton). Sambungan memegang peranan penting pada setiap struktur baja, baik dalam desain elastic maupun plastis. Karena suatu keruntuhan struktur lebih sering diakibatkan oleh Sambungan dari pada oleh batang itu sendiri. Dalam desain plastis sambungan harus memungkinkan suatu struktur untuk mencapai kapasitas momen plastis penampangnya.

1. Desain Sambungan Balok Kuda-Kuda (Tipe A)



Gambar 2.21 Sambungan Balok Kuda-Kuda

Berikut beberapa tahapan dalam desain sambungan atap tipe A :

- Tahanan tumpu pada bagian web balok :

$$R_d = \phi_f R_n = 2,4 \phi_f d_b t_p f_u$$

- Tahanan geser baut dengan dua bidang geser :

$$R_d = \phi_f R_n = 0,75 \cdot (0,5 f_u^b) \cdot m \cdot A_b$$

- Perhitungan jumlah baut :

$$n = \frac{R_u}{R_d}$$

- Periksa geser blok pada balok anak dan balok induk

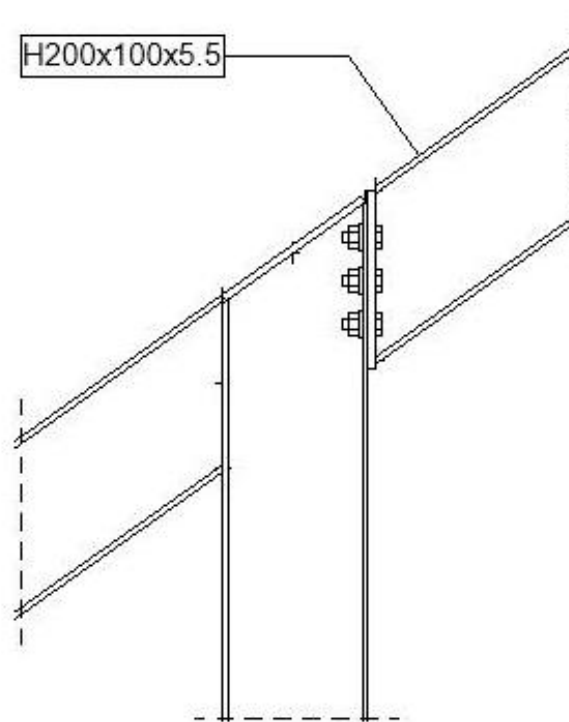
Geser leleh - tarik fraktur

$$T_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv} + f_u \cdot A_{nt} \geq T_u$$

Geser fraktur - tarik leleh

$$T_n = 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nt} + f_y \cdot A_{gv} \geq T_u$$

2. Desain Sambungan Balok Kuda-Kuda – Kolom (Tipe B)



Gambar 2.22 Sambungan Kuda-Kuda Kolom

a. Kontrol kuat geser daerah panel

Kuat geser nominal pada pelat badan kolom

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w$$

Dimana :

V_n = kekuatan nominal dalam geser

f_y = tegangan leleh

A_w = luas sayap

Kuat geser daerah panel

$$V_u \leq \phi V_n$$

dengan,

ϕ = faktor reduksi (yakni reduksi kekuatan) untuk geser = 0,90

V_u = beban geser layanan terfaktor

b. Desain sambungan baut

- Kuat geser nominal baut

(SNI 03-1729-2002 pasal 13.2.2.1)

$$V_d = \phi_f V_n = \phi_f r_1 f_b^u A_b$$

Dimana :

$r_1 = 0,50$ tanpa ulir pada bidang geser

$r_1 = 0,40$ dengan ulir pada bidang geser

$f_b^u =$ tegangan tarik putus baut (MPa)

$A_b =$ luas bruto penampang baut (mm^2)

$\phi_f = 0,75$ faktor reduksi kekuatan fraktur

- Kuat nominal baut dalam tarik

(SNI 1729 2002 pasal 13.2.2.2)

Kekuatan rencana tarik dari baut :

$$T_d = \phi_f T_n = \phi_f 0,75 f_u^b A_b$$

Dimana :

$f_u^b =$ tegangan tarik putus baut, MPa

$A_b =$ luasan bruto penampang baut, mm^2

$\phi_f = 0,75$ faktor reduksi kekuatan fraktur

- Kuat nominal tumpu desain

(SNI 03-1729-2002 pasal 13.2.2.4)

$$R_d = \phi_f R_n = 2,4 \phi_f d_b t_p f_u$$

Dimana :

$d_b =$ diameter nominal baut, mm

$t_p =$ tebal pelat tertipis, mm

$\phi_f = 0,75$ faktor reduksi kekuatan fraktur

- Kontrol asumsi a :

$$a = \frac{n_1 \cdot \phi_f \cdot 0,75 \cdot f_u^b \cdot A_b \cdot n_2}{f_y \cdot b} < (h - d_3)$$

- Kuat rencana sambungan baut :

$$Md = [n_1 \cdot \phi_f \cdot 0,75 \cdot f_u^b \cdot A_b \cdot n_2] + [\phi_f \cdot f_y \cdot a \cdot b(d - a/2)] \geq Mu$$

- Kontrol gaya geser baut

$$\frac{Vu}{n} \leq \phi Rn$$

Dengan,

Vu = Gaya geser ultimit

n = Jumlah baut

ϕRn = Kuat geser 1 baut

- Kontrol kombinasi geser dan tarik

Satu baut yang hanya memikul gaya geser terfaktor. V_r dalam permukaan friksi harus memenuhi :

(SNI 03-1729-2002, Pasal.13.2.3.1)

$$Vu < Vd = \phi Vn$$

Dimana,

$$Vd = \phi Vn = 1,13 \cdot \phi \cdot \mu \cdot m \cdot Tb$$

Dengan,

ϕ = 1 untuk lubang standar

μ = koefisien gesek = 0,25

m = jumlah bidang geser

Tb = gaya tarik baut minimum dari :

(SNI 03-1729-2002, Hal.172.Tab.18.2.-1)

- Kombinasi geser dan tarik pada sambungan tipe friksi :

(SNI 03-1729-2002, Pasal.13.2.3.3)

$$Vd = \phi \cdot Vn \cdot \left[1 - \frac{Tu}{1,13 \cdot Tb} \right] \geq Vu$$

Dimana,

Tu = Gaya tarik terfaktor

Tb = Gaya tarik baut minimum

- c. Desain pelat ujung

- Sambungan las pelat ujung

Tebal las

Untuk $\frac{1}{4}'' < T < \frac{1}{2}'' = 6,4 < T < 12,7$, maka $t_e \text{ min filet} = \frac{3}{16}'' = 0,5 \text{ cm}$

Kekuatan desain las

$$\phi Rnw = 0,75 \cdot t_e \cdot 0,6 \cdot F_{EXX}$$

Dimana,

t_e = Tebal rencana las

F_{EXX} = Tegangan tarik putus logam las

Panjang las maksimum

$$Lw = 2 \cdot bb - tw$$

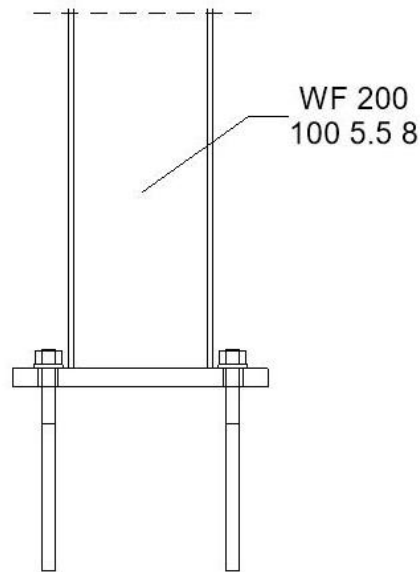
Kontrol kekuatan las

$$\phi Mp = 0,9 \cdot Zx \cdot fy$$

$$Tu \text{ maks} = \frac{\phi \cdot Mp}{hb - tfb}$$

$$T \text{ las} = Lw \cdot \phi Rnw \geq Tu \text{ maks}$$

3. Desain Sambungan Kolom (Baja) – Kolom (Baja Komposit) (Tipe C)



Gambar 2.23 Sambungan Kolom Baja-Kolom Komposit

Dalam perencanaan sambungan tipe C, dibagi menjadi beberapa bagian perhitungan elemen sambungan antara lain :

- Menghitung besaran m dan x :

$$m = \frac{N - 0,95d}{2}$$

$$x = f - \frac{d}{2} + \frac{tf}{2}$$

- Menghitung eksentrisitas :

$$e = \frac{Mu}{Pu}$$

- Menentukan kategori idealisasi struktur

Kategori A

Tidak ada eksentrisitas akibat momen.

Kategori B

$$0 \leq e \leq \frac{N}{6}$$

Kategori C

$$e = \frac{N}{6}$$

Kategori D

$$e > \frac{N}{6}$$

- Menghitung tegangan tumpu pada beton :

$$q = \phi c. 0,85. f'c. B. \sqrt{\frac{A2}{A1}}$$

$$\text{Asumsikan } \sqrt{\frac{A2}{A1}} = 2$$

$$f + \frac{N}{2}$$

$$f + e$$

$$Y = \left(f + \frac{N}{2}\right) \pm \sqrt{\left[-\left(f + \frac{N}{2}\right)\right]^2 - \frac{2.Pu.(f + e)}{q}}$$

$$\text{Periksa } \sqrt{\frac{A2}{A1}} = 2$$

$$Tu = q.Y - Pu$$

- Periksa angkur terhadap gaya geser

$$Vub = \frac{Vu}{n}$$

$$\text{Kontrol } \phi. fv. Ab > Vub$$

- Periksa angkur terhadap gaya tarik

$$fv = \frac{Vub}{Ab}$$

$$\text{Untuk angkur tipe A307 } Ft = 407 - 1,9fv < 310 \text{ MPa}$$

Untuk angkur tipe A325 $F_t = 807 - 1,5f_v < 621 \text{ MPa}$

$$T_{ub} = \frac{T_u}{nt}$$

Kontrol $\emptyset. ft. Ab > T_{ub}$

- Perhitungan tebal base Plate

Kategori A

$$t_p \geq 1,49. c. \sqrt{\frac{P_u}{B. N. f_y}}$$

Kategori B

$$t_p \geq 1,49. c. \sqrt{\frac{P_u}{B. (N - 2e). f_y}}$$

Kategori C

$$t_p \geq 1,49. c. \sqrt{\frac{1,5. P_u}{B. N. f_y}}$$

Kategori D

Untuk $Y > m$:

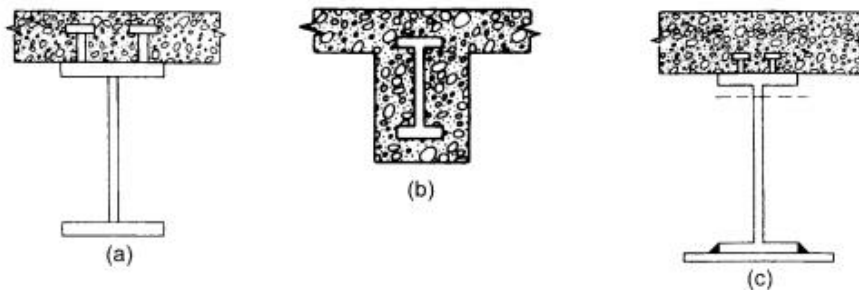
$$t_p \geq 1,49. c. \sqrt{\frac{P_u}{B. Y. f_y}}$$

Untuk $Y < m$:

$$t_p \geq 2,11. \sqrt{\frac{P_u. \left(m - \frac{Y}{2}\right)}{B. f_y}}$$

2.7.2 Balok Komposit

Balok adalah salah satu diantara elemen-elemen struktur yang paling banyak dijumpai pada setiap struktur. Balok adalah elemen struktur yang memikul beban yang bekerja tegak lurus dengan sumbu longitudinalnya. Hal ini akan menyebabkan balok melentur. Balok komposit dapat dibentuk dari profil baja yang diberi penghubung geser (*shear connector*) pada sayap atas profil baja atau dapat pula dari profil baja yang dibungkus dengan beton.



Gambar 2.24 Balok Komposit

(a) Balok komposit dengan shear connector, (b) Balok baja dengan selubung beton, (c) Lantai komposit dengan shear connector. (Setiawan, 2008)

2.7.2.1 Lebar Efektif Balok Komposit

Lebar efektif digunakan dalam proses desain komponen struktur (komposit), terutama ketika proses desain terdapat suatu elemen yang mengalami distribusi tegangan yang tidak seragam. Lebar efektif pelat lantai yang membentang pada masing-masing sisi dari sumbu balok ditentukan sebagai berikut :

1. Untuk balok interior diambil nilai minimum dari :

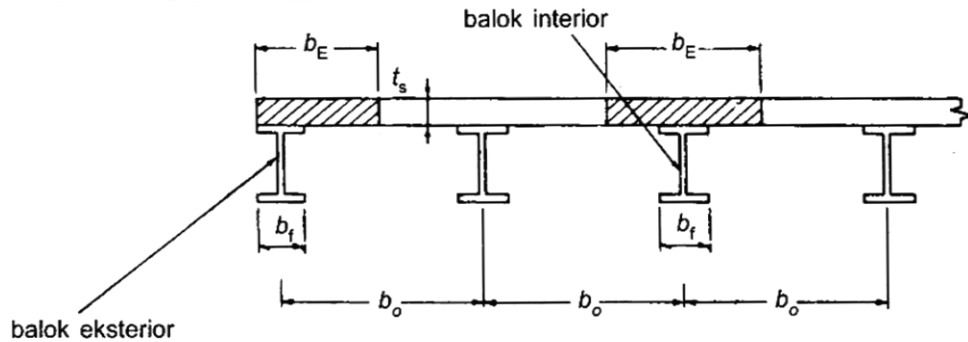
$$b_{eff} \leq \frac{L}{4} \quad (2.44)$$

$$b_{eff} \leq b_0 \quad (2.45)$$

2. Untuk balok eksterior diambil nilai minimum dari :

$$b_{eff} \leq \frac{L}{8} + (\text{jarak pusat balok ke tepi pelat}) \quad (2.46)$$

$$b_{eff} \leq \frac{1}{2}b_o + (\text{jarak pusat balok ke tepi pelat}) \quad (2.47)$$



Gambar 2.25 Lebar Efektif Balok Komposit (Setiawan, 2008)

2.7.2.2 Kuat Lentur Nominal (M_n)

1. Kekuatan lentur positif (SNI 1729 2002 pasal 12.4.2.1)

Kekuatan lentur positif dihitung dengan menggunakan distribusi tegangan elastis. Pada kondisi ini, kekuatan lentur batas penampang ditentukan oleh terjadinya leleh pertama.

- a. Untuk $\frac{h}{t_w} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_{yf}}}$

dengan $\phi_b = 0,85$ dan M_n dihitung berdasarkan distribusi tegangan plastis pada penampang komposit.

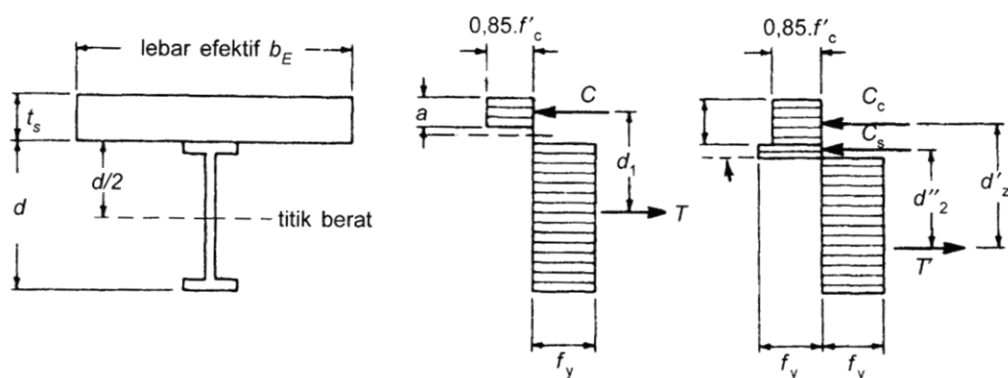
- b. Untuk $\frac{h}{t_w} > \frac{1680}{\sqrt{f_{yf}}}$

dengan $\phi_b = 0,90$ dan M_n ditentukan berdasarkan superposisi tegangan-tegangan elastis yang memperhitungkan pengaruh tumpuan sementara (perancah).

2. Kekuatan lentur negatif (SNI 1729 2002 pasal 12.4.2.2)

Kekuatan lentur negatif dihitung dengan mengabaikan aksi komposit. Jadi kekuatan lentur negatif penampang komposit = kekuatan lentur negatif penampang baja saja.

Kuat lentur nominal yang dihitung berdasarkan distribusi tegangan plastis, dapat dikategorikan menjadi dua kondisi sebagai berikut :



Gambar 2.26 Kuat Lentur Nominal Berdasarkan Distribusi Tegangan Plastis

(Setiawan, 2008)

1. Kondisi sumbu netral plastis jatuh pada pelat beton (Gambar 2.5.b)

Menghitung gaya tekan (C) pada beton :

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_{eff} \quad (2.48)$$

Menentukan gaya tarik (T) pada baja :

$$T = A_s \cdot f_y \quad (2.49)$$

Dari keseimbangan gaya $C = T$ didapat tinggi balok tekan efektif :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_{eff}} \quad (2.50)$$

Jika $a > t_s$ maka asumsi harus diubah. Hasil ini menyatakan bahwa pelat beton tidak cukup kuat untuk mengimbangi gaya tarik pada profil baja.

Kekuatan momen nominal :

$$M_n = C \cdot d_1 \quad (2.51)$$

$$M_n = T \cdot d_1 \quad (2.52)$$

Bila kekuatan nominal dinyatakan dalam bentuk gaya baja akan diperoleh :

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(\frac{d}{2} + t_s - \frac{a}{2} \right) \quad (2.53)$$

2. Kondisi sumbu netral plastis jatuh pada profil baja (Gambar 2.5.c)

Jika nilai tegangan beton (a) melebihi tebal pelat beton (t_s), maka :

Gaya tekan yang bekerja pada beton :

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot t_s \cdot b_{eff} \quad (2.54)$$

Dari keseimbangan gaya diperoleh hubungan :

$$T' = C_c + C_s \quad (2.55)$$

Gaya tarik pada baja :

$$T' = A_s \cdot f_y - C_s \quad (2.56)$$

Diperoleh persamaan :

$$C_s = \frac{A_s \cdot f_y - C_c}{2} \quad (2.57)$$

$$C_s = \frac{A_s \cdot f_y - 0,85 \cdot f'_c \cdot t_s \cdot b_{eff}}{2} \quad (2.58)$$

Kuat lentur nominal berdasarkan Gambar 2.5.c :

$$M_n = C_c \cdot d'_2 + C_s \cdot d''_2 \quad (2.59)$$

2.7.2.3 Lendutan

Struktur komposit memiliki momen inersia yang lebih besar dibandingkan dengan struktur non komposit, sehingga lendutan pada komponen struktur komponen akan lebih kecil. Momen inersia dari komponen struktur komposit hanya dapat tercapai setelah beton mengeras, sehingga lendutan yang diakibatkan oleh beban-beban yang bekerja sebelum beton mengeras, dihitung berdasarkan momen inersia dari profil baja saja. Setelah beton mengeras, aksi komposit mulai bekerja sehingga momen inersia bertambah.

Terdapat beberapa kondisi untuk menghitung lendutan struktur komposit yaitu :

1. (I_s) Momen inersia dari profil baja, yang digunakan untuk menghitung lendutan yang ditimbulkan oleh beban-beban yang bekerja sebelum beton mengeras
2. (I_{tr}) Momen inersia dari penampang komposit yang dihitung berdasarkan lebar efektif b/n , digunakan untuk menghitung lendutan yang ditimbulkan oleh beban hidup dan beban mati yang bekerja setelah beton mengeras
3. (I_{tr}) Momen inersia yang dihitung berdasarkan lebar efektif $b/2n$, untuk menentukan besar lendutan jangka panjang yang disebabkan oleh beban mati yang bekerja setelah beton mengeras.

2.7.2.4 Kuat Geser Rencana

Kuat geser rencana (ϕV_n) ditentukan berdasarkan kuat geser penampang baja saja ($\phi b = 0,90$). Kuat geser nominal (V_n) pelat badan harus diambil seperti yang ditentukan pada SNI 1729 2002 pasal 8.8.2 yaitu :

1. Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel h/t_w memenuhi :

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}}$$

Dengan :

$$k_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

Kuat geser nominal pelat badan harus diambil seperti ditentukan dalam pasal

8.8.3. yaitu :

$$V_n = 0,6f_y A_w$$

(2.60)

dengan A_w adalah luas kotor pelat badan.

2. Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel h/t_w memenuhi :

$$1,10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \leq \frac{h}{t_w} \leq 1,37 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}}$$

Kuat geser nominal pelat badan harus diambil seperti ditentukan dalam pasal

8.8.4. yaitu :

$$V_n = 0,6f_y A_w \left[1,10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \frac{1}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2} \right]$$

(2.61)

Atau :

$$V_n = 0,6f_y A_w \left[C_v + \frac{(1 - C_v)}{1,15 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right]$$

(2.62)

Dengan :

$$C_v = 1,10 \frac{\sqrt{k_n E / f_y}}{(h/t_w)}$$

(2.63)

3. Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel h/t_w memenuhi :

$$1,37 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \leq \frac{h}{t_w}$$

Kuat geser nominal pelat badan harus diambil seperti ditentukan dalam pasal 8.8.5. yaitu :

$$V_n = \frac{0,9 A_w k_n E}{(h/t_w)^2} \quad (2.64)$$

Atau :

$$V_n = 0,6 f_y A_w \left[C_v + \frac{(1 - C_v)}{1,15 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \quad (2.65)$$

Dengan :

$$C_v = 1,15 \frac{k_n E}{f_y} \frac{1}{(h/t_w)^2} \quad (2.66)$$

2.7.3 Kolom Komposit

Kolom komposit dapat dibentuk dari pipa baja yang diisi dengan beton polos atau dapat pula dari profil baja hasil gilas panas yang dibungkus dengan beton dan diberi tulangan baja serta sengkang, seperti halnya pada kolom beton biasa.

Untuk menghitung kuat rencana kolom komposit dihitung sesuai SNI 1729 2002 pasal 12.3.2 dengan rumus :

$$\phi_c N_n = 0,85 A_s f_{cr} \quad (2.67)$$

dengan

$$\phi_c = 0,85$$

$$f_{cr} = \frac{f_{my}}{\omega} \quad (2.68)$$

Untuk :

$$\lambda_c \leq 0,25 \quad \text{maka } \omega = 1$$

$$0,25 \leq \lambda_c \leq 1,2 \quad \text{maka } \omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_c}$$

$$\lambda_c \geq 1,2 \quad \text{maka } \omega = 1,25 \lambda_c^2$$

Dimana :

$$\lambda_c = \frac{k_c \cdot L}{f_m \cdot \pi} \sqrt{\frac{f_{my}}{E_m}} \quad (2.69)$$

Dengan :

$$f_{my} = f_y + C_1 \cdot f_{yr} \left(\frac{A_r}{A_s} \right) + C_2 \cdot f_c' \cdot \left(\frac{A_c}{A_s} \right) \quad (2.70)$$

$$E_m = E + C_3 \cdot E_c \cdot \left(\frac{A_c}{A_s} \right) \quad (2.71)$$

$$E_c = 0,041 \cdot w^{1,5} \sqrt{f_c'} \quad (2.72)$$

Dimana :

A_c = luas penampang beton, mm²

A_r = luas penampang tulangan longitudinal, mm²

A_s = luas penampang profil baja, mm²

E = modulus elastisitas baja, MPa

E_c = modulus elastisitas beton, MPa

E_m = modulus elastisitas kolom komposit, MPa

f_{cr} = tegangan tekan kritis, MPa

f_y = tegangan leleh profil baja, MPa

f_c' = kuat tekan karakteristik beton, MPa

f_{my} = tegangan leleh kolom komposit, MPa

f_{yr} = tegangan leleh tulangan, MPa

r_m = jari-jari girasi kolom komposit, mm

w = berat jenis beton

k_c = faktor panjang efektif kolom

L = panjang unsur struktur, mm

N_n = kuat aksial nominal, N

λ_c = parameter kelangsingan

ϕ_c = faktor reduksi beban aksial tekan

ω = faktor tekuk

Kekuatan rencana kolom komposit yang menahan beban kombinasi aksial dan lentur (SNI 1729 2002 pasal 7.4.3.3)

Jika $\frac{N_u}{\phi_c \cdot N_n} \geq 0,2$ maka :

$$\frac{N_u}{\phi_c \cdot N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right) \leq 1,0 \quad (2.73)$$

Jika $\frac{N_u}{\phi_c \cdot N_n} < 0,2$ maka :

$$\frac{N_u}{2\phi_c \cdot N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right) \leq 1,0 \quad (2.74)$$

Dimana :

N_u = gaya aksial (tarik atau tekan) terfaktor, N

N_n = kuat nominal penampang, N

ϕ = faktor reduksi kekuatan, $\phi_c = 0,85$ (tekan), $\phi_b = 0,90$ (lentur)

M_{nx}, M_{ny} = momen lentur nominal, N mm.

M_{ux}, M_{uy} = momen lentur terfaktor, N mm

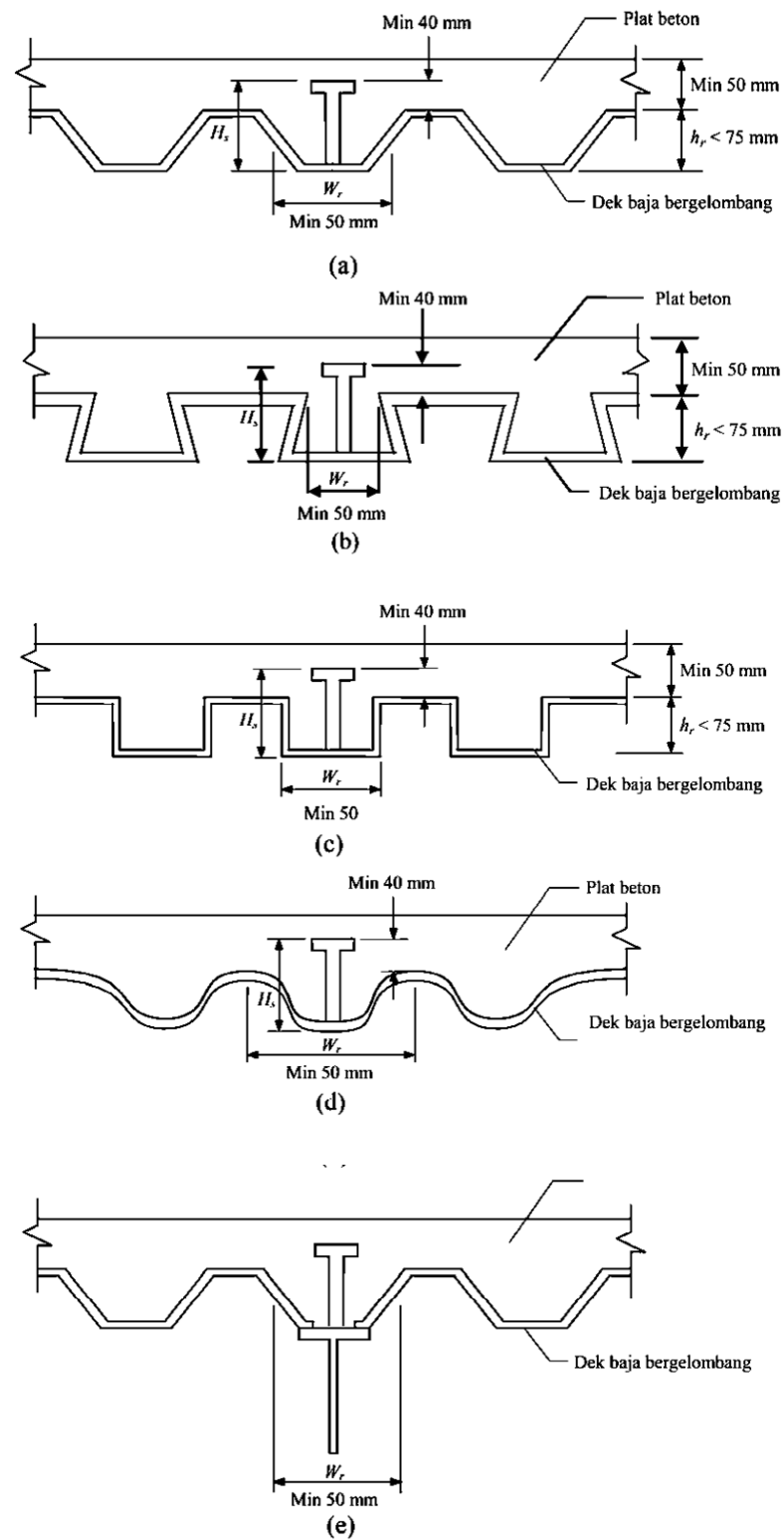
2.7.4 Pelat Lantai (Dek Baja Gelombang)

Perkembangan struktur komposit dimulai dengan digunakannya dek baja gelombang, yang selain berfungsi sebagai bekisting saat pelat beton dicetak, juga berfungsi sebagai tulangan positif bagi pelat beton. Penggunaan dek baja gelombang juga dapat dipertimbangkan sebagai dukungan dalam arah lateral dari balok sebelum beton mulai mengeras.

Persyaratan dek baja gelombang dan penghubung gesernya untuk digunakan dalam komponen struktur komposit diatur dalam pasal 12.4.5.1 SNI 1729 2002.

Dalam pasal ini disyaratkan :

1. Tinggi maksimum dek baja, $h_r \leq 75$ mm, lebar rata-rata minimum dari dek baja gelombang, $w_r > 50$ mm tetapi tidak boleh diambil dalam perhitungan sebagai lebih dari lebar bersih minimum di dekat bagian paling atas dari dek baja.
2. Pelat beton harus disatukan dengan balok baja melalui penghubung geser jenis paku yang dilas, yang mempunyai diameter lebih dari 20 mm. Penghubung geser jenis paku dapat dilas pada dek baja atau langsung pada balok baja. Setelah terpasang, ketinggian penghubung
3. Geser jenis paku tidak boleh kurang dari 40 mm di atas sisi dek baja yang paling atas.
4. Ketebalan pelat beton di atas dek baja tidak boleh kurang dari 50 mm.



Gambar 2.27 Persyaratan Dek Baja Gelombang
(Sumber : SNI 1729 2002)

2.7.5 Sambungan Komponen Struktur

Kuat rencana setiap komponen tidak boleh kurang dari beban terfaktor yang dihitung. Perencanaan sambungan harus memenuhi persyaratan pada SNI 1729 2002 pasal 13.1.3 yaitu :

1. Gaya dalam yang disalurkan berada dalam keseimbangan dengan gaya-gaya yang bekerja pada sambungan.
2. Deformasi pada sambungan masih berada dalam batas kemampuan deformasi sambungan.
3. Sambungan dan komponen yang berdekatan yang harus mampu memikul gaya-gaya yang bekerja padanya.

2.7.5.1 Klasifikasi Sambungan

Ada beberapa macam klasifikasi sambungan diantaranya:

1. Sambungan kaku (*Rigid connection*)

Sambungan yang dianggap memiliki kekakuan yang cukup untuk mempertahankan sudut-sudut diantara komponen-komponen struktur yang akan disambung.

2. Sambungan semi kaku (*Semi rigid connection*)

Sambungan yang tidak memiliki kekakuan yang cukup mempertahankan sudut-sudut diantara komponen-komponen struktur yang disambung, namun harus dianggap memiliki kapasitas yang cukup untuk memberikan kekangan yang dapat diukur terhadap perubahan sudut-sudut tersebut.

3. Sambungan sendi (*Simple connection*)

Sambungan yang pada kedua ujung komponen struktur dianggap bebas momen. Sambungan sendi harus dapat berubah bentuk agar memberikan

rotasi yang diperlukan pada sambungan. Sambungan tidak boleh mengakibatkan momen lentur terhadap komponen struktur yang disambung.

2.7.5.2 Kekuatan Sambungan

Mendapatkan kuat nominal sambungan, maka semua mekanisme keruntuhan yang teridentifikasi harus ditinjau, yaitu :

1. Kuat tumpu (geser) pelat,
Jumlah kumulatif tahanan tumpu masing-masing baut yang mengalami kontak dengan pelat;
2. Kuat geser baut,
Jumlah bidang geser per baut, jumlah baut di sambungan dan kuat geser nominal baut;
3. Kuat geser blok,
Khusus untuk sambungan dengan jumlah baut yang relatif banyak dan ditempatkan secara berkelompok.

Kuat nominal maksimum, R_n dari sambungan ditentukan jika salah satu dari mekanisme diatas dapat tercapai terlebih dahulu. Itu artinya gaya terkecil yang menimbulkan mekanisme keruntuhan adalah yang menentukan.

Selanjutnya kuat batas sambungan adalah $R_n = \phi R_n$, dengan nilai faktor tahanan $\phi = 0,75$ untuk keseluruhan mekanisme keruntuhan yang ditinjau. Hal itu menandakan bahwa keruntuhan fraktur yang relatif kurang daktail dibanding keruntuhan leleh.

2.7.5.3 Standar Desain Sambungan Baut

1. Kontrol jarak baut

(SNI 03-1729-2002 pasal 13.4)

Jarak tepi minimum = 1.5 db

Jarak tepi maksimum = (4tp + 100 mm) atau 200 mm

Jarak minimum antar baut = 3 db

Jarak maksimum antar baut = 15 tp atau 200 mm

2. Kekuatan rencana baut

a. Kekuatan rencana geser baut

(SNI 03-1729-2002 pasal 13.2.2.1)

$$V_d = \phi_f V_n = \phi_f r_1 f_b^u A_b$$

Dimana :

r_1 = 0,50 tanpa ulir pada bidang geser

r_1 = 0,40 dengan ulir pada bidang geser

f_b^u = tegangan tarik putus baut (MPa)

A_b = luas bruto penampang baut (mm²)

ϕ_f = 0,75 faktor reduksi kekuatan fraktur

b. Kekuatan rencana tumpu baut dengan pelat

(SNI 03-1729-2002 pasal 13.2.2.4)

$$R_d = \phi_f R_n = 2,4 \phi_f d_b t_p f_u$$

Dimana :

d_b = diameter nominal baut, mm

t_p = tebal pelat tertipis, mm

f_u = tegangan tarik putus terkecil antara baut dan pelat, MPa

$\phi_f = 0,75$ faktor reduksi kekuatan fraktur

c. Kekuatan baut memikul beban tarik

(SNI 1729 2002 pasal 13.2.2.2)

Kekuatan rencana tarik dari baut :

$$T_d = \phi_f T_n = \phi_f 0,75 \cdot f_u^b A_b$$

Dimana :

f_u^b = tegangan tarik putus baut, MPa

A_b = luasan bruto penampang baut, mm²

$\phi_f = 0,75$ faktor reduksi kekuatan fraktur

3. Baut mutu tinggi tipe gesek

a. Baut hanya menerima beban geser (V_u)

(SNI 1729 2002 pasal 13.2.3.1)

Kuat geser nominal :

$$V_d = \phi V_n = 1,13 \phi \mu m T_b$$

Dimana :

μ = koefisien gesek

m = jumlah bidang geser

T_b = gaya tarik baut minimal

Nilai ϕ berdasarkan karakteristik lubang :

$\phi = 1$ untuk lubang standar

$\phi = 0,85$ untuk lubang selot pendek dan besar

$\phi = 0,70$ untuk lubang selot panjang tegak lurus arah beban kerja

$\phi = 0,60$ untuk lubang selot panjang sejajar arah kerja beban

- b. Baut menerima beban kombinasi geser (V_u) dan tarik (T_u)

(SNI 1729 2002 pasal 13.2.3.3)

Bila disamping beban geser (V_u) baut juga menerima beban tarik T_u , maka kuat geser nominal direduksi sebagai berikut :

$$V_d = \phi V_n = \left(1 - \frac{T_u}{1,13 T_b}\right)$$

Dimana :

T_b = gaya tarik baut minimal

T_u = gaya tarik baut terfaktor

2.7.5.4 Standar Desain Sambungan Las

1. Las Tumpul

Las tumpul penetrasi penuh yaitu las tumpul di mana terdapat penyatuan antara las dan bahan induk sepanjang kedalaman penuh sambungan. Sedangkan las tumpul penetrasi sebagian yaitu las tumpul di mana kedalaman penetrasi lebih kecil daripada kedalaman penuh sambungan.

Tebal rencana las ditetapkan sebagai berikut:

a. Las Tumpul Penetrasi Penuh :

Tebal rencana las untuk las tumpul penetrasi penuh adalah ukuran las

b. Las Tumpul Penetrasi Sebagian :

Tebal rencana las untuk las tumpul penetrasi sebagian ditetapkan sesuai dengan ketentuan dibawah ini:

- Sudut antara bagian yang disambung $\leq 60^\circ$

Satu sisi : $t_t = (d - 3)$ mm

Dua sisi : $t_t = (d_3 + d_4 - 6)$ mm

- Sudut antara bagian yang disambung $> 60^\circ$

Satu sisi : $t_t = d$ mm

Dua sisi : $t_t = (d_3 + d_4)$ mm

dengan d adalah kedalaman yang dipersiapkan untuk las (d_3 dan d_4 adalah nilai untuk tiap sisi las).

Kuat las tumpul penetrasi penuh ditetapkan sebagai berikut:

- Bila sambungan dibebani dengan gaya tarik atau gaya tekan aksial terhadap luas efektif maka,

$$\phi_y R_{nw} = 0,9 t_t f_y \quad (\text{bahan dasar})$$

$$\phi_y R_{nw} = 0,9 t_t f_{yw} \quad (\text{las})$$

- Bila sambungan dibebani dengan gaya geser terhadap luas efektif maka,

$$\phi_y R_{nw} = 0,9 t_t (0,6 f_y) \quad (\text{bahan dasar})$$

$$\phi_y R_{nw} = 0,8 t_t (0,6 f_{uw}) \quad (\text{las})$$

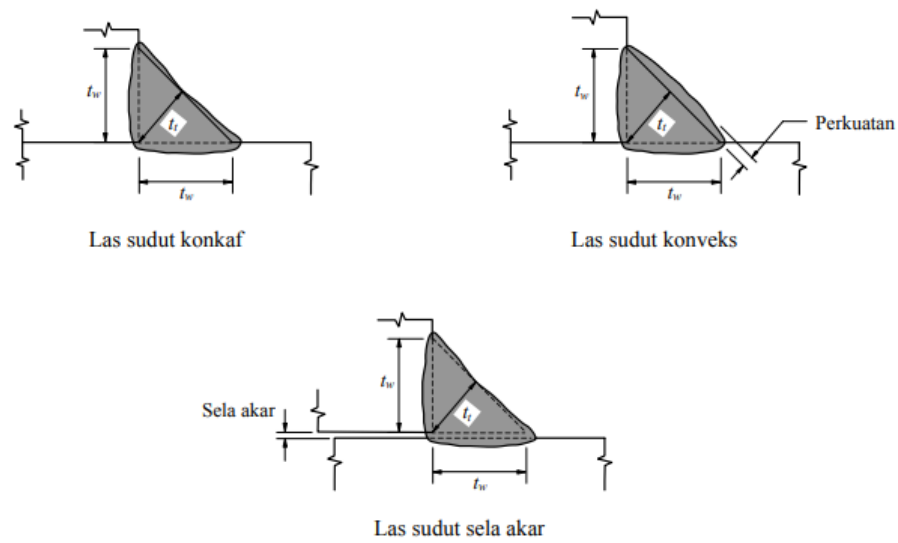
Keterangan:

$\phi_y = 0,9$ adalah faktor reduksi kekuatan saat leleh,

f_y, f_{uw} adalah tegangan leleh dan tegangan tarik putus.

2. Las Sudut

Ukuran las sudut ditentukan oleh panjang kaki. Panjang kaki harus ditentukan sebagai panjang t_{w1}, t_{w2} , dari sisi yang terletak sepanjang kaki segitiga yang terbentuk dalam penampang melintang las. Bila kakinya sama panjang, ukurannya adalah t_w . Bila terdapat sela akar, ukuran t_w diberikan oleh panjang kaki segitiga yang terbentuk dengan mengurangi sela akar.



Gambar 2.28 Ukuran Las Sudut

Ukuran minimum las sudut, selain dari las sudut yang digunakan untuk memperkuat las tumpul, ditetapkan sesuai dengan tabel berikut :

Tabel 2.20 Ukuran Minimum Las Sudut

Tebal bagian paling tebal, t [mm]	Tebal minimum las sudut, t_w [mm]
$t \leq 7$	3
$7 < t \leq 10$	4
$10 < t \leq 15$	5
$15 < t$	6

Sumber : SNI 1729 2002, (Badan Standarisasi Nasional, 2002)

Ukuran maksimum las sudut sepanjang tepi komponen yang disambung adalah :

- Untuk komponen dengan tebal kurang dari 6,4 mm, diambil setebal komponen;
- Untuk komponen dengan tebal 6,4 mm atau lebih, diambil 1,6 mm kurang dari tebal komponen kecuali jika dirancang agar memperoleh tebal rencana las tertentu.

Panjang efektif las sudut adalah seluruh panjang las sudut berukuran penuh. Panjang efektif las sudut paling tidak harus 4 kali ukuran las. Jika kurang, maka ukuran las untuk perencanaan harus dianggap sebesar 0,25 dikali panjang efektif. Persyaratan panjang minimum berlaku juga pada sambungan pelat yang bertumpuk (lap). Tiap segmen las sudut yang tidak menerus (selang-seling) harus mempunyai panjang efektif tidak kurang dari 40 mm dan 4 kali ukuran nominal las.

Tebal rencana las suatu las sudut ditunjukkan dalam Gambar 2.4. Sedangkan luas efektif las sudut adalah perkalian panjang efektif dan tebal rencana las.

Las sudut yang memikul gaya terfaktor persatuan panjang las, R_u harus memenuhi (SNI 1729 2002 pasal 13.5.3.10), yaitu :

$$R_u \leq \phi R_{nw}$$

Dengan,

$$\phi_y R_{nw} = 0,75 t_t (0,6 f_u) \quad (\text{bahan dasar})$$

$$\phi_y R_{nw} = 0,75 t_t (0,6 f_{uw}) \quad (\text{las})$$

Dengan $\phi f = 0,75$ faktor reduksi kekuatan saat fraktur

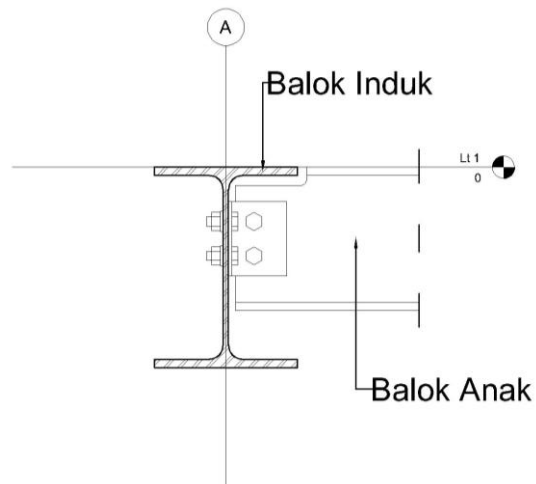
Keterangan :

f_{uw} = tegangan tarik putus logam las, MPa

f_u = tegangan tarik putus bahan dasar, MPa

t_t = tebal rencana las, mm

2.7.5.5 Desain Sambungan Balok Anak - Balok Induk



Gambar 2.29 Sambungan Balok - Balok

Berikut beberapa tahapan dalam desain sambungan balok anak dan balok induk :

- Tahanan tumpu pada bagian web balok :

$$R_d = \phi_f R_n = 2,4 \phi_f d_b t_p f_u$$

- Tahanan geser baut dengan dua bidang geser :

$$R_d = \phi_f R_n = 0,75 \cdot (0,5 f_u^b) \cdot m \cdot A_b$$

- Perhitungan jumlah baut :

$$n = \frac{R_u}{R_d}$$

- Periksa geser blok pada balok anak dan balok induk

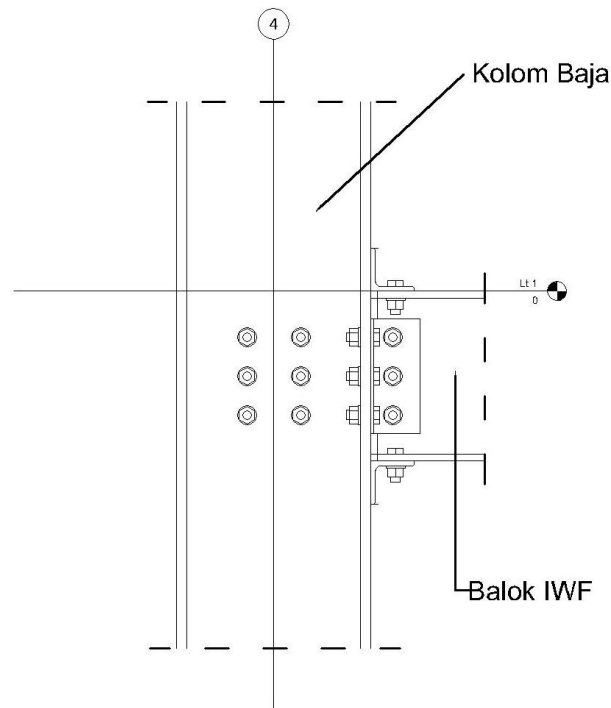
Geser leleh - tarik fraktur

$$T_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv} + f_u \cdot A_{nt} \geq T_u$$

Geser fraktur - tarik leleh

$$T_n = 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nt} + f_y \cdot A_{gv} \geq T_u$$

2.7.5.5 Desain Sambungan Kolom – Balok



Gambar 2.30 Sambungan Kolom - Balok

Sesuai SNI 03-1729-2002 pasal 15.9.2 dikatakan bahwa untuk sambungan balok ke kolom harus menggunakan las atau baut mutu tinggi. Dalam perencanaan sambungan antara kolom dengan balok, dibagi menjadi beberapa bagian perhitungan elemen sambungan antara lain :

1. Perhitungan tahanan nominal baut

Kekuatan rencana geser baut

$$V_d = \phi_f V_n = \phi_f r_1 f_b^u A_b$$

Kekuatan rencana tumpu baut

$$R_d = \phi_f R_n = 2,4\phi_f d_b t_p f_u$$

Kekuatan rencana tarik baut

$$T_d = \phi_f T_n = \phi_f 0,75 f_u^b A_b$$

2. Desain siku penyambung atas dan bawah

$$d = \frac{Mu}{2.Td}$$

$$a = b - t \text{ siku} - r \text{ siku}$$

Dengan d, maka gaya yang bekerja pada profil siku :

$$T = \frac{Mu}{d}$$

Gaya ini menimbulkan momen pada profil siku sebesar :

$$Mu = 0,5.T.a$$

Kapasitas nominal penampang persegi :

$$Mu = \phi Mn = 0,9.\left(\frac{b.d^2}{4}\right).fy$$

Sehingga diperoleh panjang minimum siku :

$$b = \frac{4.Mu}{0,9.fy.d^2}$$

Dengan panjang b pada flens kolom.

3. Perhitungan sambungan flens balok

Baut yang menghubungkan flens balok dengan siku penyambung adalah sambungan dengan satu bidang geser, sehingga :

$$n = \frac{Pu}{Rd \text{ geser}}$$

Dengan,

$$Pu = \frac{Mu}{l}$$

Dimana :

Mu = Momen ujung

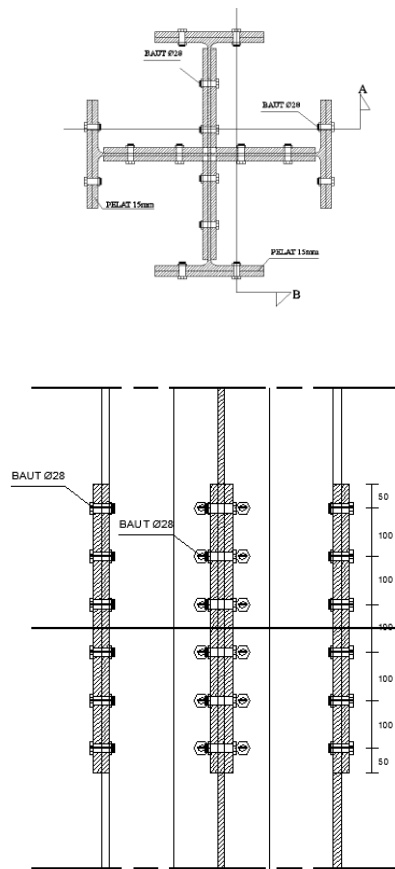
l = Jarak baut atas dan bawah

4. Perhitungan sambungan web balok

Baut yang menghubungkan web balok dengan flens kolom adalah sambungan dengan satu bidang geser, sehingga :

$$n = \frac{Pu}{Rd \text{ geser}}$$

2.7.5.6 Desain Sambungan Kolom – Kolom



Gambar 2.31 Sambungan Kolom-Kolom

Dalam perencanaan sambungan antar kolom perlu ditinjau gaya dalam dari sambungan arah x dan sambungan arah y. Secara umum berikut beberapa tahapan perhitungan sambungan antar kolom :

1. Perhitungan distribusi beban aksial pada kolom

$$P_{u \text{ web}} = \frac{A_{\text{badan}}}{A_{\text{profil}}} \cdot P_u$$

$$P_{u \text{ flens}} = P_u - P_{u \text{ web}}$$

2. Perhitungan distribusi beban momen pada kolom

$$M_{u \text{ web}} = \frac{I_{\text{badan}}}{I_{\text{profil}}} \cdot M_{u \text{ x}}$$

$$M_{u \text{ flens}} = M_{u \text{ x}} - M_{u \text{ web}}$$

3. Perhitungan tahanan nominal baut

Kekuatan rencana baut

Kekuatan rencana geser baut

$$V_d = \phi_f V_n = \phi_f r_1 f_b^u A_b$$

Kekuatan rencana tumpu baut

$$R_d = \phi_f R_n = 2,4 \phi_f d_b t_p f_u$$

Kekuatan rencana tarik baut

$$T_d = \phi_f T_n = \phi_f 0,75 f_u^b A_b$$

4. Perhitungan pelat sambung flens

Gaya kopel pada flens

$$T = \frac{M_u \text{ flens}}{d}$$

Total gaya pada flens

$$P_u = T + \frac{P_u \text{ flens}}{4}$$

Jumlah baut yang diperlukan

$$n = \frac{P_u}{\phi V n}$$

Kontrol jarak baut

(SNI 03-1729-2002 pasal 13.4)

Jarak tepi :

$$(S1) = 1,5 \text{ db s/d } (4tp + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$(S2) = 1,25 \text{ db s/d } 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm}$$

Jarak baut :

$$(S) = 3 \text{ db s/d } 15 \text{ tp atau } 200 \text{ mm}$$

5. Perhitungan pelat sambung web

Momen yang bekerja pada titik berat sambungan :

$$Mu = (Mu \text{ badan} + Vu \cdot x \cdot e)$$

Gaya akibat Pu

$$Ruv \ 1 = \frac{Pu \text{ web}}{2n}$$

Gaya akibat Vu

$$Ruh \ 1 = \frac{Vu}{n}$$

Gaya akibat Mu

$$Ruv \ 2 = \frac{Mu \cdot x}{\sum(x^2 + y^2)}$$

$$Ruh \ 2 = \frac{Mu \cdot y}{\sum(x^2 + y^2)}$$

Gaya total

$$Ru \text{ total} = \sqrt{(\sum Ruv)^2 + (\sum Ruh)^2} \leq \phi Rn$$

Kontrol jarak baut

Jarak tepi :

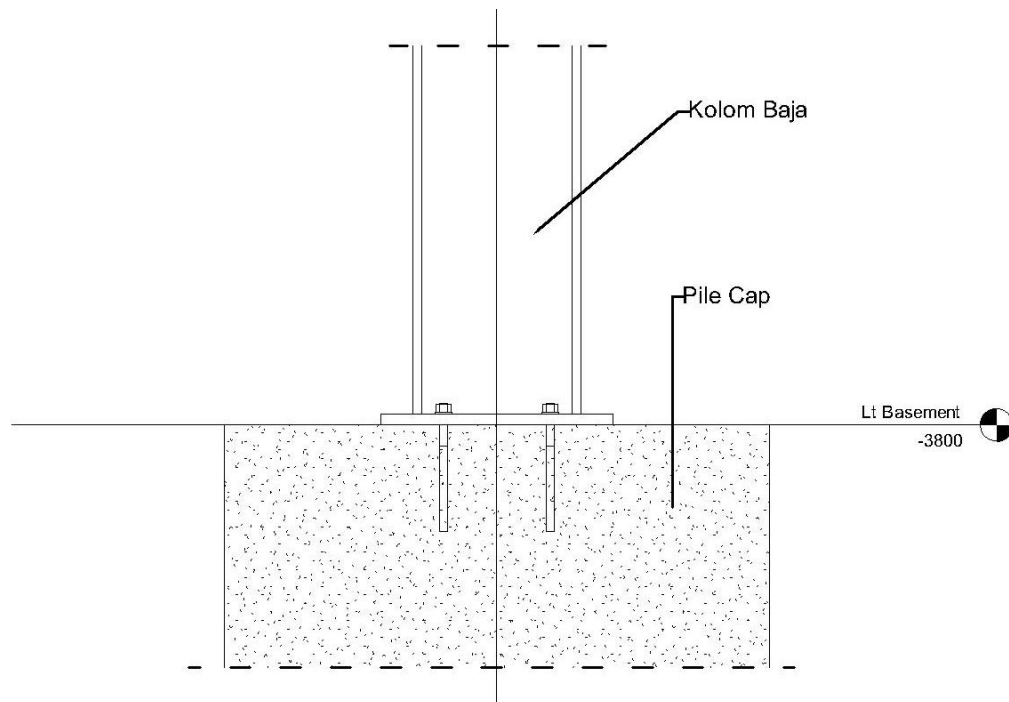
$$(S1) = 1,5 \text{ db s/d } (4tp + 100) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$(S2) = 1,25 \text{ db s/d } 12 \text{ tp atau } 150 \text{ mm}$$

Jarak baut :

$$(S) = 3 \text{ db s/d } 15 \text{ tp atau } 200 \text{ mm}$$

2.7.5.7 Desain Sambungan Kolom – Pilecap



Gambar 2.32 Sambungan Kolom Pilecap

Menghitung besaran m dan x :

$$m = \frac{N - 0,95d}{2}$$

$$x = f - \frac{d}{2} + \frac{tf}{2}$$

Menghitung eksentrisitas :

$$e = \frac{Mu}{Pu}$$

- Menentukan kategori idealisasi struktur

Kategori A

Tidak ada eksentrisitas akibat momen.

Kategori B

$$0 \leq e \leq \frac{N}{6}$$

Kategori C

$$e = \frac{N}{6}$$

Kategori D

$$e > \frac{N}{6}$$

- Menghitung tegangan tumpu pada beton :

$$q = \phi_c \cdot 0,85 \cdot f'c \cdot B \cdot \sqrt{\frac{A2}{A1}}$$

$$\text{Asumsikan } \sqrt{\frac{A2}{A1}} = 2$$

$$f + \frac{N}{2}$$

$$f + e$$

$$Y = \left(f + \frac{N}{2}\right) \pm \sqrt{\left[-\left(f + \frac{N}{2}\right)\right]^2 - \frac{2 \cdot Pu \cdot (f + e)}{q}}$$

$$\text{Periksa } \sqrt{\frac{A2}{A1}} = 2$$

$$Tu = q \cdot Y - Pu$$

- Periksa angkur terhadap gaya geser

$$Vub = \frac{Vu}{n}$$

$$\text{Kontrol } \phi \cdot fv \cdot Ab > Vub$$

- Periksa angkur terhadap gaya tarik

$$fv = \frac{Vub}{Ab}$$

Untuk angkur tipe A307 $Ft = 407 - 1,9fv < 310 \text{ MPa}$

Untuk angkur tipe A325 $Ft = 807 - 1,5fv < 621 \text{ MPa}$

$$Tub = \frac{Tu}{nt}$$

Kontrol $\emptyset. ft. Ab > Tub$

- Perhitungan tebal base Plate

Kategori A

$$tp \geq 1,49. c. \sqrt{\frac{Pu}{B.N.fy}}$$

Kategori B

$$tp \geq 1,49. c. \sqrt{\frac{Pu}{B.(N - 2e).fy}}$$

Kategori C

$$tp \geq 1,49. c. \sqrt{\frac{1,5.Pu}{B.N.fy}}$$

Kategori D

Untuk $Y > m$:

$$tp \geq 1,49. c. \sqrt{\frac{Pu}{B.Y.fy}}$$

Untuk $Y < m$:

$$tp \geq 2,11. \sqrt{\frac{Pu. \left(m - \frac{Y}{2}\right)}{B.fy}}$$

2.7.6 Penghubung Geser (*Shear Connector*)

Struktur komposit merupakan kombinasi beton dengan baja profil yang membentuk suatu kesatuan dan bekerja bersama-sama dalam memikul beban. Bila pada beton bertulang gaya-gaya tarik yang dialami suatu elemen struktur dipikul oleh besi tulangan, maka pada beton komposit gaya-gaya tarik tersebut dipikul oleh profil baja.

Komposit baja-beton diasumsikan dapat bekerja bersama-sama menahan beban, dengan bantuan alat penghubung geser (*shear connector*) yang dipasang pada sayap atas dari baja profil. Alat penghubung geser tersebut menghasilkan interaksi yang diperlukan untuk aksi komposit antara balok baja profil dan pelat beton, yang sebelumnya hanya menghasilkan lekatan untuk balok yang ditanam seluruhnya dalam beton.

Gaya geser yang terjadi diantara pelat beton dan profil baja harus dipikul oleh sejumlah penghubung geser, sehingga tidak terjadi slip pada saat masa layan. Besarnya gaya geser horizontal yang harus dipikul oleh penghubung geser diatur dalam SNI 1729 2002 pasal 12.6.2.

1. Kekuatan penghubung geser jenis paku

Kuat nominal satu penghubung geser jenis paku yang ditanam di dalam pelat beton masif adalah:

$$Q_n = 0,5A_{sc}\sqrt{f_c'E_c} \leq A_{sc}f_u \quad (2.75)$$

Keterangan:

A_{sc} = luas penampang penghubung geser jenis paku, mm²

f_u = tegangan putus penghubung geser jenis paku, MPa

Q_n = kuat nominal geser untuk penghubung geser, N

2. Kekuatan penghubung geser kanal

Kuat nominal satu penghubung geser kanal yang ditanam di dalam pelat beton masif adalah :

$$Q_n = 0,3(t_f + 0,5t_w)L_c\sqrt{f_c'E_c} \quad (2.76)$$

Keterangan:

L_c = panjang penghubung geser kanal, mm

t_f = tebal pelat sayap, mm

t_w = tebal pelat badan, mm

2.7.7 Tangga

Tangga digunakan untuk melayani aksesibilitas antar lantai yang mempunyai tingkat lebih dari satu. Tangga merupakan komponen yang harus ada pada bangunan berlantai banyak walaupun sudah ada peralatan transportasi vertikal lainnya, karena tangga tidak memerlukan tenaga mesin.

Adapun parameter yang perlu diperhatikan pada perencanaan struktur tangga adalah sebagai berikut :

2.7.7.1 Anak Tangga

Dalam struktur tangga dikenal dengan istilah antride dan opride. Lebar anak tangga (antride) adalah ukuran pada anak tangga dimana kaki menjejak di atasnya. Sedangkan tinggi anak tangga (opride) adalah perbedaan tinggi antara satu anak tangga dengan anak tangga lainnya.

Untuk mencapai tingkat kenyamanan yang ideal, ukuran lebar anak tangga (antride) antara 20-33 cm, sementara tinggi anak tangga (opride) antara 15-18 cm. Tinggi anak tangga dilambangkan dengan (t) dan lebar anak tangga dengan (i). Idealnya $60 \leq (2t + i) \leq 65$ cm.

Ukuran tinggi dan lebar anak tangga mempengaruhi keamanan sebuah tangga. Semakin besar tinggi anak tangga, akan semakin curam tangga tersebut. Sedangkan jika anda ingin tangga yang landai, maka lebar tangga harus diperbesar. Jika $(2t + i) > 65$ cm, maka tangga tersebut akan sangat curam, sementara itu jika $(2t + i) < 60$, maka tangga tersebut akan sangat landai. Ketinggian setiap anak tangga juga harus tetap sama dari yang paling bawah sampai yang paling atas.

2.7.7.2 Kemiringan Tangga

Ukuran kemiringan tangga (dalam derajat) adalah perbandingan tinggi tangga (lantai bawah dengan lantai atas) dengan panjang tangga (ruang yang dibutuhkan untuk tangga).

Koefisien kemiringan tangga dapat dihitung dengan rumus :

$$z = y / x$$

Dengan,

z = koefisien kemiringan tangga

y = tinggi tangga (cm)

x = panjang tangga (cm)

Berdasarkan kemiringannya, tangga dibedakan atas :

1. Lantai miring, 6° - 20°

Koefisien kemiringan 0,1 – 0,36

2. Tangga landai 20° - 24°

Koefisien kemiringan 0,36-0,44

3. Tangga biasa, 24° - 45°

Koefisien kemiringan 0,44-1,0

4. Tangga curam, 45° - 75°

Koefisien kemiringan 1,0 – 3,7

5. Tangga naik, tangga tingkat, 75 °-90 °

Koefisien kemiringan > 3,7

Untuk mendapatkan tangga yang ideal dengan kemiringan 24°- 45° , tinggi tangga tidak boleh lebih besar dari panjang tangga, maksimal $y = x$. Tangga yang terlalu landai juga tidak terlalu nyaman, karena kaki terpaksa memiliki anak tangga lebih banyak dengan ketinggian tertentu.

2.7.7.3 Pagar dan Pegangan Tangga

Tiang pada pagar tangga (baluster) berfungsi sebagai pengaman. Dengan adanya (baluster) orang akan terhindar dari risiko terjatuh saat menaiki atau menuruni tangga. Oleh karenanya (baluster) harus dibuat cukup rapat, tinggi 90-100 cm dan tidak menghasilkan bagian yang tajam agar anak-anak tidak terluka bila harus berpengaruh pada (baluster).

2.7.7.4 Bordes

Untuk memberikan kenyamanan ada pula aturan baku bagi pembuatan tangga. Setiap ketinggian maksimum 12 anak tangga (setinggi 1,5-2 m) harus dibuat bordes (landing), yaitu suatu platform datar yang cukup luas untuk melangkah secara horizontal sebanyak kurang lebih tiga atau empat langkah sebelum mendaki ke anak tangga berikutnya.

2.7.7.5 Anti Slip

Bahaya yang sering mengintai saat orang menggunakan tangga adalah tergelincir (slip), biasanya terjadi pada ujung siku anak tangga. Untuk mencegah hal ini, dikenal produk (nosing) kadang disebut (step nosing) yang fungsinya membuat ujung siku anak tangga lebih besar.

Step nosing ada yang terbuat dari karet, alumunium, atau keramik. Permukaannya bergerigi agar langkah pemakai terhenti pada ujung tangga dan tidak terpeleset. Step nosing dari bahan keramik dipasang saat memasang ubin keramik di anak tangga beton. Caranya, pada bagian ujung siku disisakan celah yang belum tertutup keramik. Pada bagian tepi inilah dipasang (nosing) dari keramik.

Pemasangan (nosing) berbahan lain, seperti karet dan alumunium, dilakukan setelah anak tangga jadi. Caranta, (nosing) disekrupkan pada anak tangga. Beberapa gedung pertunjukkan yang ruangnya gelap seperti bioskop dan teater, bahkan memanfaatkan (nosing) sebagai pemandu langkah saat orang menaiki tangga. (Nosing) ini menggunakan bahan (fluorescent) yang mampu menyala dalam gelap.

2.7.8 Syarat Umum Kontruksi Lift

Berdasarkan SNI 05-7052-2004 tentang syarat-syarat umum konstruksi lift penumpang yang dijalankan dengan motor traksi tanpa kamar mesin, berikut ini merupakan beban rata-rata dan luas kereta maksimal yang ditampilkan pada Tabel berikut.

Tabel 2.21 Beban Rata-Rata dan Luas Kereta Maksimal

No	Luas Kereta Maksimal (m ²)	Jumlah Penumpang Maksimal (Orang)	Pembulatan Beban (Kg)
1	0.9	4	300
2	1	5	375
3	1.2	6	450
4	1.3	7	500
5	1.5	8	550
6	1.6	9	600
7	1.8	10	680
8	1.9	11	750
9	2.05	12	820
10	2.2	13	900

11	2.35	14	950
12	2.5	15	1000
13	2.65	16	1100
14	2.75	17	1150
15	2.85	18	1250
16	3	19	1300
17	3.15	20	1360
18	3.56	23	1600

Sumber : SNI-7052-2004 (Badan Standarisasi Nasional, 2004)

Tabel 2.22 Besar Faktor Bobot Imbang

Kapasitas Elevator	Faktor Keseimbangan
> 1200 kg	40 % - 42,5 %
600 kg – 1150 kg	45 %
300 kg – 580 kg	50 % - 55 %

Sumber : CV. Mitra Lift Indo Pratama

2.8 Perencanaan Struktur Bawah

2.8.1 Basement

2.8.1.1 Lantai Basement

Pendefinisian pelat satu arah dan dua arah dapat dilihat dari rasio panjang terpanjang dengan panjang pendek pada suatu pelat. Jika lebih besar dari 2 maka pelat itu bisa dikatakan pelat satu arah dan perhitungan dilakukan sama seperti perhitungan balok. Jika rasionya lebih kecil dari 2 maka pelat itu bisa dikatakan pelat dua arah. Beban-beban yang bekerja pada pelat disesuaikan SNI 1727-2013 pembebanan pelat direncanakan menerima beban mati dan beban hidup dengan kombinasi pembebanan.

Perencanaan pelat lantai dasar harus mampu menahan gaya angkat air tanah. Beban yang terjadi pada pelat ini adalah gaya dari air tanah dikurangi dengan berat sendiri pelat basement tersebut. Penulangan pelat basement berdasarkan tulangan bagi berdasarkan SNI 2847-2013.

2.8.1.2 Dinding Basement

Perencanaan dinding basement dapat juga difungsikan sebagai dinding penahan tanah. Karena basement mengalami tegangan tanah, tegangan akibat air tanah arah horizontal dan akibat beban bangunan di sekitarnya.

1. Tekanan Tanah Lateral

Tekanan tanah lateral adalah sebuah parameter perencanaan yang penting di dalam sejumlah persoalan teknik fondasi. Dinding penahan dan dinding turap (sheet pile wall), galian yang diperkokoh (braced excavation) dan galian tidak diperkokoh (unbraced excavation), tekanan tanah (grain pressure) pada diaphragm wall, dan lain-lain. Semuanya ini memerlukan perkiraan tekanan lateral secara kuantitatif pada pekerjaan konstruksi, baik untuk analisis perencanaan maupun analisis stabilitas (Joseph E. Bowles, 1988).

Menurut Rankine (1987) yang mengemukakan Teori Rankine berasumsi bahwa :

- a. Tidak ada adhesi atau friksi antar dinding dengan tanah (friksi sangat kecil sehingga diabaikan)
- b. Tekanan lateral terbatas hanya untuk dinding vertical 90° .
- c. Kelongsoran terjadi sebagai akibat dari pergeseran tanah yang ditentukan oleh sudut geser tanah (ϕ).
- d. Tekanan lateral bervariasi linier terhadap kedalaman dan resultan tekanan yang berada pada sepertiga tinggi dinding, diukur dari dasar dinding
- e. Resultan gaya bersifat paralel terhadap permukaan urugan.

2. Tekanan Tanah Aktif (K_a)

a. Tekanan tanah aktif (dengan kohesi nol, $C=0$)

Suatu dinding penahan tanah dalam keseimbangan menahan tekanan tanah horizontal, tekanan tanah dapat dievaluasi dengan menggunakan koefisien tekanan tanah K_a . Untuk mendapatkan tekanan tanah horizontal K_a adalah konstanta yang fungsinya mengubah tekanan vertikal tersebut menjadi tekanan horizontal. Oleh karena itu tekanan horizontal dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Pa = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 \quad (2.77)$$

Dengan,

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.78)$$

b. Tekanan tanah aktif berkohesi

Kohesi (kelekatan tanah) mempunyai pengaruh mengurangi tekanan aktif tanah sebesar . Jadi dapat dirumuskan menjadi seperti berikut ini :

$$Pa = K_a \gamma H^2 - 2c\sqrt{K_a} \quad (2.79)$$

3. Tekanan Tanah Pasif (K_p)

Pada dinding penahan tanah menerima tekanan tanah pasif yang dapat menahan tekanan tanah aktif. Tekanan tanah pasif (K_p) yang besarnya sebagai berikut :

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.80)$$

Maka tahanan pasif suatu tanah datar tanpa kohesi ($C=0$),

$$Pp = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2 \quad (2.81)$$

Tahanan pasif suatu tanah datar dengan kohesi,

$$Pp = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2 - 2c\sqrt{Ka} \quad (2.82)$$

2.8.1.3 Balok Sloof

Menurut Pedoman Perancangan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung 1987 pasal 2.2.8, untuk fondasi dari suatu gedung harus saling berhubungan dalam 2 arah (umumnya saling tegak lurus) oleh unsur penghubung yang direncanakan terhadap gaya aksial tarik dan tekan sebesar 10% dari beban vertikal maksimum. Desain penulangan pada sloof akan direncanakan menggunakan tulangan baja, hal tersebut dilakukan karena sloof menerima kombinasi beban aksial tekan dan lentur.

2.8.2 Struktur Fondasi

Fondasi adalah bagian dari struktur bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah dan berfungsi untuk menyalurkan beban - beban yang diterima dari struktur atas ke lapisan tanah.

Fondasi memiliki fungsi memikul seluruh bangunan dan beban-beban yang bekerja padanya, sehingga fondasi harus di desain sedemikian rupa sehingga proses penyaluran beban-beban dari bangunan ke lapisan tanah dapat berlangsung dengan baik dan aman.

Berdasarkan letak kedalaman tanah kuat yang digunakan sebagai pendukung fondasi, maka fondasi digolongkan menjadi 3 jenis, yaitu :

1. Fondasi dangkal

Kedalaman tanah kuat untuk fondasi dangkal diperkirakan sampai mencapai 3 meter dibawah permukaan tanah. Yang termasuk golongan fondasi dangkal yaitu fondasi lajur dan fondasi telapak.

2. Fondasi sedang

Kedalaman tanah kuat untuk fondasi sedang diperkirakan sampai mencapai 4 meter dibawah permukaan tanah. Yang termasuk kedalam fondasi ini adalah fondasi sumuran.

3. Fondasi dalam

Kedalaman tanah kuat untuk fondasi dalam minimal mencapai 4,5 meter dibawah permukaan tanah. Yang termasuk dalam fondasi ini yaitu fondasi tiang pancang.

2.8.2.1 Perencanaan Fondasi *Bored Pile*

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah memikul tekanan, atau tekanan maksimum yang diijinkan yang bekerja pada tanah diatas fondasi. Daya dukung terfaktor adalah kemampuan tanah memikul tekanan atau tekanan maksimum pada batas runtuh. Perhitungan daya dukung tanah adalah sebagai berikut:

1. Daya dukung fondasi harus lebih besar dari pada beban yang dipikul oleh fondasi tersebut.
2. Penurunan yang terjadi harus sesuai batas yang diizinkan (toleransi) yaitu 1” (2,54cm).

Dalam perencanaan fondasi bored pile ada beberapa metode daya dukung yang digunakan :

a. Metode Meyerhof 1956

Menurut Meyerhof 1956 Standard Penetration Test (SPT) adalah sejenis percobaan dinamis dengan memasukkan suatu alat yang dinamakan split spoon kedalam tanah. Dengan percobaan ini akan diperoleh kepadatan relatif (relative density), sudut geser tanah (Φ) berdasarkan nilai jumlah pukulan (N). Perkiraan

kapasitas daya dukung fondasi bored pile pada tanah pasir dan silt didasarkan pada data uji lapangan SPT, ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

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

(2.83)

Dimana :

σ_u = Kapasitas ultimit tiang

N_b = Nilai N dari uji SPT di sekitar dasar tiang

A_b = Luas dasar tiang

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

A_s = Luas selimut tiang

b. Metode Terzaghi

Perhitungan daya dukung ultimate digunakan persamaan Terzaghi :

$$\bar{\sigma}_u = \frac{1}{F_S} \left((c \cdot N_c \cdot S_c) + (D_f \cdot \gamma_t \cdot N_q) + (0,5 \gamma_t \cdot B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma) \right)$$

(2.84)

Tabel 2.23 Nilai Faktor S_c dan S_γ

No	Bentuk Fondasi	S_c	S_γ
1	Persegi	1,3	0,8
2	Persegi Panjang	1,0	1,0
3	Lingkar	1,3	0,6

Tabel 2.24 Nilai-Nilai Faktor Kapasitas Dukung Terzaghi (1943)

ϕ	Keruntuhan Geser Umum			Keruntuhan Geser Lokal		
	N_c	N_q	N_γ	N_c'	N_q'	N_γ'
0	5,7	1,0	0,0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7

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

Penyebaran tekanan pada dasar fondasi dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{\sum P}{A} \pm \frac{My x}{Iy} \pm \frac{Mx y}{Ix} \quad (2.85)$$

Dimana :

σ = Tegangan yang terjadi (N/mm²)

ΣP = Jumlah total beban fondasi (N)

A = Luas total fondasi pile cap (mm²)

My = Momen arah y (Nmm)

Mx = Momen arah x (Nmm)

x, y = Jarak eksentrisitas dari pusat beban kolom ke pusat fondasi (mm)

Ix,Iy = Momen inersia fondasi pile cap terhadap sumbu-x dan sumbu-y
(mm⁴)

Persyaratan yang harus dipenuhi :

$$\sigma_{\max} \geq \sigma_{\text{izin}}$$

$$\sigma_{\min} \leq \sigma_{\text{izin}}$$

$$\sigma_{\min} > 0$$

1. Analisis daya dukung masing – masing tiang :

- Tahanan adhesi tiang dan tanah

$$P1 = K.H.c \quad (2.86)$$

Dimana :

- P1 = Tahanan adhesi dinding tiang ultimit
- K = Keliling penampang tiang
- H = Kedalaman tiang
- C = Adhesi antara dinding tiang dengan tanah

- Tahanan gesek dinding tiang ultimit

$$P2 = K.\left(\frac{1}{2}.H^2.\gamma_t\right)(1 + \tan^2\varphi)\tan\varphi \quad (2.87)$$

Dimana :

- P2 = 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

$$P3 = Ab.\bar{\sigma}_u \quad (2.88)$$

Dimana :

- P3 = Tahanan ujung tiang ultimit
- γ = Berat isi tanah
- c = Kohesi tanah di ujung tiang
- Df = Kedalaman tiang
- Ab = Luas penampang ujung tiang
- $\bar{\sigma}_u$ = Daya dukung ultimate tiang

Maka didapat :

$$P_{netto} = P1 + P2 + P3 - \text{Berat Tiang} \quad (2.89)$$

2. Daya dukung izin

$$\sigma_{izin} = \frac{\sigma_u}{FS} \quad (2.90)$$

3. Jumlah tiang yang diperlukan

$$n = \frac{V_u}{P_{netto}} \quad (2.91)$$

4. Penulangan *bored pile*

$$M1 = \frac{M_{dasar}}{n} \quad (2.92)$$

Gaya geser maksimum terjadi pada bagian atas fondasi akibat beban horizontal

$$H_u = \frac{H}{n}$$

Kapasitas momen pada dasar fondasi tiang

$$M_1 = K_C^R A_{st} f_y d$$

$$A_{st} = \frac{M_1}{K_C^R f_y d}$$

Jumlah tulangan

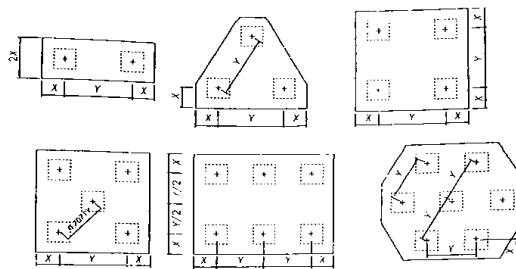
Tulangan sengkang spiral :

$$\rho_s = \frac{4a_s(D_c - d_s)}{D_c^2 S}$$

$$S = \frac{4a_s(D_c - d_s)}{D_c^2 \rho_s}$$

2.8.2.2 Perencanaan Pilecap

Pile cap memiliki fungsi sebagai pengikat setiap pile yang telah terpancang ke dalam tanah. Pile cap mendistribusikan beban vertikal analisisnya, fondasi pile cap dianggap sebagai material yang sangat kaku dan distribusi tekanan yang ditimbulkan akibat beban dapat dianggap linier. Pada fondasi pilecap setiap titik didukung secara langsung oleh tanah dibawahnya, sehingga momen lentur yang terjadi sangat kecil.



Gambar 2.33 Susunan Kelompok Tiang

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

$$P_i = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y x_i}{\sum x^2} \pm \frac{M_x y_i}{\sum y^2} \quad (2.93)$$

Dimana:

P_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

Persyaratan yang harus dipenuhi :

$$P_{\text{terjadi}} = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_y x}{\sum x^2} \pm \frac{M_x y}{\sum y^2} \leq P_{\text{netto}}$$

$$P_{max} = \frac{\sum P}{n} + \frac{Myx}{\sum x^2} + \frac{Mxy}{\sum y^2} \leq P_{netto}$$

$$P_{min} = \frac{\sum P}{n} - \frac{Myx}{\sum x^2} - \frac{Mxy}{\sum y^2} \leq P_{netto}$$

$$P_{min} > 0$$

2. Penulangan Pilecap

a. Beban-beban yang bekerja pada pile cap

- 1) Berat sendiri pile cap,
- 2) Berat tanah urug,
- 3) Gaya aksial tiang.

b. Momen yang terjadi akibat beban

$$\sum M = P_1 \cdot x_1 + P_2 \cdot x_2 - P_{max} \cdot x_3$$

c. Penulangan

1) Rasio tulangan

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 f'c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 Rn}{0,85 f'c}} \right] \text{ dengan } Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2}$$

$$\rho_{balance} = 0,85 \beta_1 \frac{f'c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{max} = \left(\frac{0,003 + f_y/E_s}{0,008} \right) \rho_{balance}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

2) Luas tulangan

$$A_s = \rho b d$$

3) Jarak antar tulangan

$$s = \frac{A_s}{As}$$