

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Rumah Sakit

Menurut WHO (*World Health Organization*), rumah sakit adalah suatu bagian dari organisasi medis dan sosial yang mempunyai fungsi untuk memberikan pelayanan kesehatan lengkap kepada masyarakat.

Menurut Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 340/MENKES/PER/III/2010. Rumah sakit adalah institusi pelayanan kesehatan yang menyelenggarakan pelayanan kesehatan perorangan secara paripurna yang menyediakan pelayanan rawat inap, rawat jalan dan gawat darurat.

2.2 Pembebanan

Menurut SNI 1272-2013 Beban gaya atau aksi lainnya yang diperoleh dari berat seluruh bahan bangunan, penghuni, barang-barang yang ada di dalam bangunan gedung, efek lingkungan, selisih perpindahan, dan gaya kekangan akibat perubahan dimensi.

2.2.1 Beban Mati

Menurut SNI 1272-2013 Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran.

Dalam menentukan beban mati rencana, harus diperhitungkan berat peralatan layan yang digunakan dalam bangunan gedung seperti plambing, mekanikal elektrik, dan alat pemanas, ventilasi, dan sistem pengondisian udara.

2.2.1.1 Berat Sendiri Struktur

Berdasarkan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (SKBI-1.3.53.1987) berikut merupakan berat sendiri bangunan serta komponen gedung lainnya yang dapat dilihat pada **Tabel 2.1**

Tabel 2.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan

Material Gedung	Berat (Kg/m³)
Baja	7850
Batu Alam	2600
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1500
Batu karang (berat tumpuk)	700
Batu peca	1450
Besi tuang	7250
Beton	2200
Beton Bertulang	2400
Kayu kelas I	1000
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1650
Pasanga bata merah	1700
Pasangan batu belah, batu bula, batu gunung	2200
Pasangan batu cetak	2200
Pasangan batu karang	1450
Pasir (kering udara sampai lembab)	1600
Pasir jenuh air	1800
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1850
Tanah lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1700
Tanah lempung dan lanau (basah)	2000
Timah hitam	11400
Semen Portland	1250

Sumber: PPPRUG SKBI 1.3.53.1987

2.2.1.2 Beban Mati Super Imposed Dead Load (SIDL)

SIDL merupakan beban komponen tambahan yang di kenakan pada stuktur, tabel komponen gedung ditampilkan dalam **Tabel 2.2**

Tabel 2.2 Komponen Gedung

Komponen Gedung	Kg/m ³
Adukan, per cm tebal	
- Dari semen	21
- Dari kapur, semen merah atau tras	17
Aspal	14
Dinding pasangan bata merah	
- Satu bata	450
- Setengah bata	250
Dinding pasangan batako berlubang	
- Tebal dinding 20 cm	200
- Tebal dinding 10 cm	120
Tanpa lubang	300
- Tebal dinding 15 cm	200
- Tebal dinding 10 cm	
Langit-langit dan dinding	
- Semen abses (eternit dll) tebal 4 mm	11
- Kaca tebal 3mm-5mm	10
Lantai kayu sederhana dengan batang maksimum 5 m dan beban hidup 200 kg/m ³	40
Penggantung langit-langit kayu bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s 0, m	7
Penutup atap genteng	50
Penutup atap sirap	40
Penutup atap seng	10
Penutup atap ubin semen portland	24
Penutup atap asbes gelombang	11

Sumber: PPPRUG SKBI 1.3.53.1987

2.2.2 Beban Hidup

Menurut SNI 1272-2013 beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

Berdasarkan SNI 1727:2013, beban hidup yang digunakan dalam perancangan suatu bangunan tidak boleh

kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan seperti pada **Tabel 2.3**

Tabel 2.3 Beban Hidup

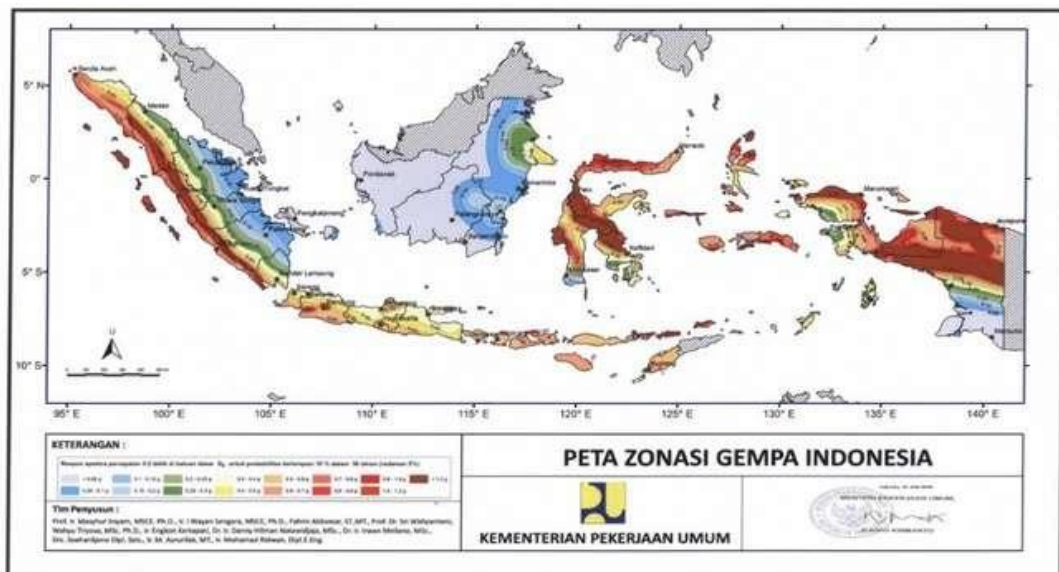
Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Rumah Sakit :		
Ruang operasi dan laboratorium	60 (2,87)	1 000 (4,45)
Ruang pasien	40 (1,92)	1 000 (4,45)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,45)

Sumber: SNI 1727:2013 Tabel 4-1

2.2.3 Beban Gempa

Gempa merupakan beban dinamik yang sangat mempengaruhi keadaan struktur bangunan. Apabila kekuatan bangunan tidak dapat menahan beban dinamik tersebut, maka bangunan akan mengalami kerusakan bahkan akan mengalami keruntuhan (Syauqi dkk, 2017). Tata cara perencanaan ketahanan suatu struktur terhadap beban gempa ditetapkan dalam SNI 1726:2012.

Berdasarkan peraturan SNI 1726:2012 tiap kota atau wilayah di Indonesia akan memiliki grafik spektrum respons masing-masing, tidak hanya terbatas pada 6 Wilayah Gempa seperti sebelumnya. Dibawah ini adalah peta zona gempa di seluruh wilayah Indonesia.



Gambar 2.1 Peta Zonasi Gempa Indonesia

Dalam SNI 1726:2012 Pasal 7, dijelaskan prosedur analisis dan desain seismik yang digunakan dalam perencanaan struktur bangunan gedung dan komponennya.

Tabel 2.4 Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa
Gedung dan Non Gedung yang memiliki risiko rendah terhadap Jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I	1,00
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk kategori risiko I,III,IV,termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor	II	1,00

<ul style="list-style-type: none"> - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 		
<p>Gedung dan Non Gedung 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 Non Gedung, tidak termasuk kategori IV, yang berpotensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/ 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 	III	1,25
<p>Gedung dan Non Gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan 	IV	1,5

<ul style="list-style-type: none"> - Rumah sakit dan Fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin, badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat darurat. 		
--	--	--

Sumber: SNI 1726:2012

Berdasarkan tabel 2 dalam SNI 1726: 2012 berikut merupakan faktor keutamaan gempa:

Tabel 2.5 Faktor keutamaan gempa

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

Lapisan tanah pada lokasi suatu proyek dapat dikategorikan menjadi beberapa kelas situs. Klasifikasi kelas situs dilakukan berdasarkan pada hasil tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata.

Tabel 2.6 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	V (m/detik)	N	S (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tatuan keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100

Setelah ditentukan kelas situs maka berdasarkan S_1 dan S_s dapat ditentukan koefisien situs. F_a merupakan faktor amplifikasi getaran yang terkait percepatan pada getaran periode pendek, F_v merupakan faktor amplifikasi getaran yang terkait percepatan pada getaran periode 1 detik.

Tabel 2.7 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R pada periode 1 detik S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

Sumber : SNI 1726-2012

Tabel 2.8 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R pada periode 1 detik S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

Sumber : SNI 1726-2012

2.2.3.1 Perhitungan Beban Gempa Statik

Tahapan perhitungannya berdasarkan SNI-1726-2012:

1. Parameter Percepatan Gempa

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar dari periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respon spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik, dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi, bila $S_1 \leq 0,04$ g, dan $S_s \leq 0,15$ g, maka struktur bangunan dimasukkan kategori kelas seismik A.

Untuk nilai parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan untuk perioda pendek (S_s), serta parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan untuk perioda 1,0 detik (S_1) didapatkan dari SNI-1726-2012 pada Pasal 14 atau bisa didapatkan dari hasil tabel grafik spectrum respons gempa untuk Kota Tasikmalaya dengan keadaan tanah sedang.

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \dots\dots\dots (2.1)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

S_s = parameter respon spektral percepatan gempa untuk periode pendek

S_1 = parameter respon spektral percepatan gempa untuk periode 1,0 detik

2. Parameter Percepatan Spektral Desain

Menghitung parameter percepatan spektrum desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}). Berdasarkan SNI-1726-2012:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \cdot S_{MS} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots (2.4)$$

3. Waktu Getar Alami

Perioda fundamental pendekatan (T_a) dalam detik dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t \cdot H^x \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

H = ketinggian struktur (m)

$C_t H^x$ = koefisien yang diperoleh dari table

Tabel 2.9 Koefisien Situs, C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang diisyaratkan tidak dilingkupi dan dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gempa		
Rangka baja memikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton memikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dan bresing terkekang tekuk	0,0731	0,75
Semua rangka struktur lainnya	0,488	0,75

Sumber: SNI 1726:2012

4. Perhitungan Koefisien Respons Seismik

Koefisien respons seismik, C_s harus dihitung dengan persamaan:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan :

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respon desain dalam rentang
periode pendek

R = faktor modifikasi respon

I = faktor keutamaan gempa

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan di atas tidak boleh melebihi:

$$C_{s(max)} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} \dots \dots \dots (2.7)$$

Nilai C_s yang dihitung juga tidak boleh kurang dari:

$$C_{s(min)} = 0,044 \cdot S_{DS} I \geq 0,01$$

5. Distribusi Vertikal Gaya Gempa

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

$$F_x = C_{vx} V \dots\dots\dots (2.8)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

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

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

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

K = eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut:
 untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$ untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

6. Distribusi Horizontal Gaya Gempa

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

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

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

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

7. Perhitungan Beban Geser Dasar Seismik Statik Ekivalen

Geser dasar seismik (V), dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \cdot W \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana:

- C_s = Koefisien Respons Seismik
- W = Berat Total Bangunan

2.2.3.2 Perhitungan Gempa Dinamik

Membuat spektrum respons desain berdasarkan SNI-1726-2012:

1. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain S_a sama dengan S_{ds} .
2. Untuk periode lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain S_a diambil menggunakan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{ds}}{T} \dots\dots\dots (2.12)$$

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

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots (2.13)$$

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (2.14)$$

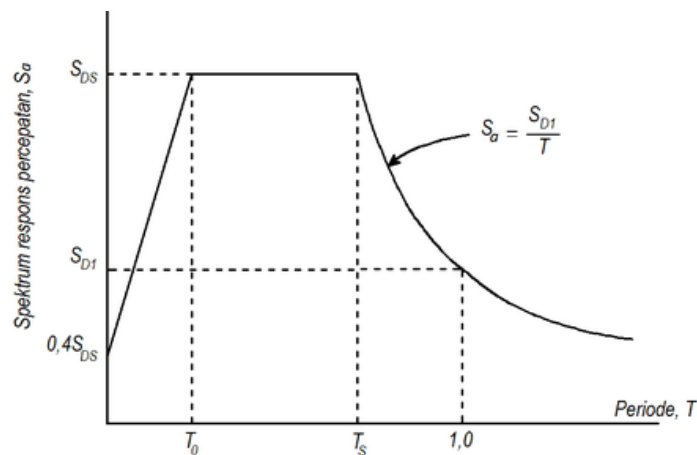
$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan:

S_{ds} = parameter respon spektral percepatan desain pada perioda pendek

S_{d1} = parameter respon spektral percepatan desain pada perioda 1 detik

T = perioda getar fundamental struktur



Gambar 2.2 Diagram Spektrum Respons Desain

2.2.4 Beban Hujan

Setiap bagian dari suatu atap harus dirancang mampu menahan beban dari semua air hujan yang terkumpul apabila sistem drainase primer untuk bagian tersebut tertutup ditambah beban merata yang disebabkan oleh kenaikan air di atas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran rencananya. Dalam SNI

1726:2012. setiap atap harus dirancang mampu menahan beban air hujan sesuai dengan persamaan berikut.

$$R = 0,0098 \cdot (ds + dh) \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan:

R = beban air hujan pada atap (kN/m²)

ds = kedalaman air pada atap (mm)

dh = tambahan kedalaman air pada atap (mm)

2.2.5 Beban Angin

Beban angin merupakan beban yang bekerja pada struktur suatu bangunan akibat tekanan dari gerakan angin. Besarnya beban angin yang bekerja pada struktur bergantung pada kecepatan angin, letak geografis, bentuk, ketinggian bangunan, serta kekakuan struktur. Untuk memperhitungkan pengaruh angin pada struktur, menurut pedoman yang berlaku adalah sebagai berikut :

1. Tekanan tiup diambil minimal 25 kg/m²
2. Tekanan tiup di laut dan tepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai diambil minimal 40 kg/m²
3. Untuk tempat-tempat yang memungkinkan tekanan angin tiup lebih besar, tekanan tiup angin dirumuskan dengan,

$$p = \frac{v^2}{16} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana v merupakan kecepatan angin (m/det)

4. Apabila dapat dijamin suatu gedung terlindungi efektif terhadap angin dari satu jurusan tertentu oleh gedung-gedung lain, hutan-hutan pelindung atau

penghalang lain, maka tekanan angin tiup dari jurusan itu dapat dikalikan dengan koefisien reduksi sebesar 0,5.

5. Sedangkan koefisien angin untuk gedung tertutup, ditentukan sebagai berikut:

a. Dinding vertikal:

$$\text{Dipihak angin} = +0,9$$

$$\text{Dibelakang angin} = -0,4$$

$$\text{Sejajar dengan arah angin} = -0,4$$

b. Atap segitiga dengan kemiringan α :

Dipihak angin:

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

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

$$\text{Dibelakang angin, untuk semua, } \alpha = -0,4$$

2.2.6 Kombinasi Pembebanan

Faktor beban diperlukan dalam analisis beban suatu gedung agar struktur dan komponen struktur memenuhi syarat kekuatan dan layak pakai dalam berbagai macam kombinasi beban. Kombinasi beban yang digunakan berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 4.2.2 faktor dan kombinasi untuk beban mati nominal, beban hidup nominal, dan beban gempa nominal adalah sebagai berikut.

1. 1,4 DL

2. 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 (Lr dan R)

3. 1,2 DL + 1,6 (Lr atau R) + 1,0 (LL atau 0,5 W)

4. 1,2 DL + 1,0 W + 1,0 LL + 0,5 (Lr atau R)

$$5. 1,2 DL + 1,0 E + 1,0 LL$$

$$6. 0,9 DL + 1,0 W$$

$$7. 0,9 DL + 1,0 E$$

Menurut SNI 1726:2012 Pasal 7.4.2, pengaruh beban gempa harus ditentukan sesuai persamaan berikut.

$$E = E_h + E_v \text{ (untuk kombinasi beban 4 diatas)}$$

$$E = E_h - E_v \text{ (untuk kombinasi beban 5 diatas)}$$

Sehingga untuk kombinasi beban 5 dan 7 diatas ditentukan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kombinasi 5} &= (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + \Omega (\pm Q_{ex} \pm 0,3Q_{ey}) + LL \\ &= (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + \Omega (\pm 0,3Q_{ex} \pm Q_{ey}) + LL \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kombinasi 7} &= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL + \Omega (\pm Q_{ex} \pm 0,3Q_{ey}) \\ &= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL + \Omega (\pm 0,3Q_{ex} \pm Q_{ey}) \end{aligned}$$

Keterangan:

DL = beban mati

SDL = beban mati tambahan

LL = beban hidup

Lr = beban hidup atap

R = beban hujan

W = beban angin

E = beban gempa

E_h = pengaruh beban gempa horizontal

E_v = pengaruh beban gempa vertikal

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respon desain pada periode pendek

Q_{ex} = pengaruh gaya gempa horizontal

Q_{ey} = pengaruh gaya gempa vertikal

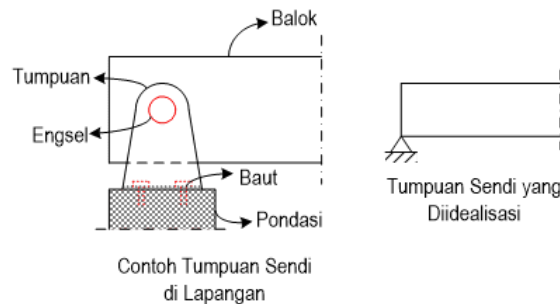
2.3 Dasar-Dasar Analisis

2.3.1 Tumpuan

Tumpuan merupakan tempat perletakan konstruksi untuk meneruskan gaya-gaya yang bekerja menuju pondasi.

2.3.1.1 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). Tumpuan sendi ini tidak dapat menahan momen (Faoji dkk, 2019).

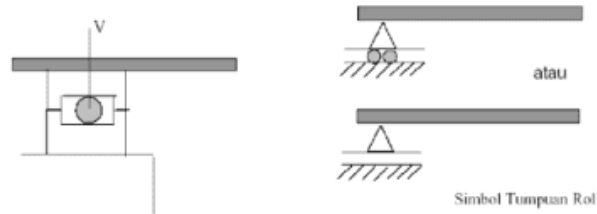


Gambar 2.3 Tumpuan Sendi

2.3.1.2 Tumpuan Rol

Tumpuan rol adalah tumpuan yang dapat bergeser ke arah horizontal sehingga tumpuan ini tidak dapat menahan gaya horizontal. Pada tumpuan terdapat roda yang dapat bergeser dimana berfungsi untuk mengakomodasi pemuaian pada konstruksi sehingga konstruksi tidak rusak. Tumpuan rol hanya mampu

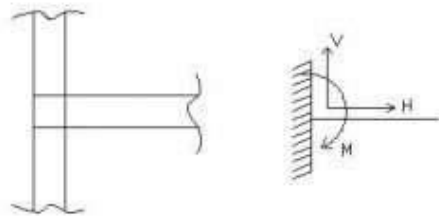
memberikan reaksi arah vertikal, artinya tumpuan hanya dapat menahan gaya vertikalnya saja, sehingga hanya terdapat 1 buah variabel yang akan diselesaikan (R_v saja) (Faoji dkk, 2019).



Gambar 2.4 Tumpuan Rol

2.3.1.3 Tumpuan Jepit

Tumpuan jepit bisa dikonstruksikan seperti misalnya balok yang ditanam dalam tembokkan atau sebagai tumpuan pada balok terusan (jepitan elastis). Tumpuan jepit dapat memberikan reaksi atau tahan 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) (Faoji dkk, 2019).



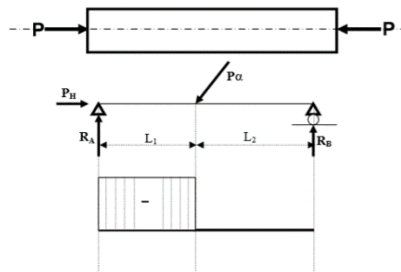
Gambar 2.5 Tumpuan Jepit

2.3.2 Gaya Dalam

Gaya dalam adalah gaya yang timbul akibat dari kekuatan bahan konstruksi dengan arah berlawanan dengan gaya luar. Gaya dalam dapat dibedakan mejadi 3 bagian yaitu :

2.3.2.1 Gaya normal (*normal force*)

Gaya normal adalah gaya yang bekerja sejajar atau searah dengan batang.



Gambar 2.6 Penggambaran normal forces diagram (NFD) cara grafis

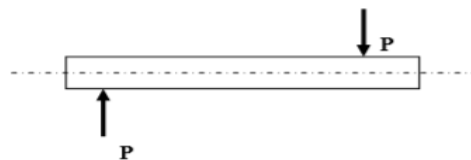
Notasi:

- Positif Jika gaya normal tarik
- Negatif Jika gaya normal tekan

Pada gambar di atas menunjukkan bahwa adanya gaya normal diakibatkan oleh adanya beban sebesar $P\alpha$, yang apabila diuraikan gayanya menjadi gaya vertikal dan horisontal. Selanjutnya, gaya arah horisontal (arah ke kiri) akan dilawan oleh gaya P_H (arah ke kanan). Sehingga timbulah gaya normal tekan (negatif) karena serat pada balok tersebut tertekan (memendek).

2.3.2.2 Gaya lintang/geser (*shearing force*)

Gaya lintang/geser adalah gaya yang bekerja tegak lurus sumbu batang

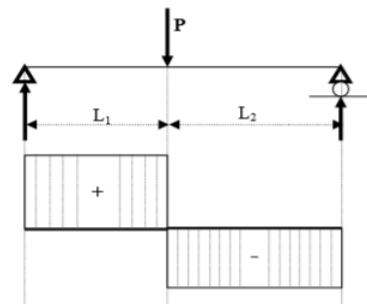


Gambar 2.7 Konsep SFD Pada Struktur Balok

Notasi:

Positif jika searah dengan jarum jam

Negatif jika berlawanan arah dengan jarum jam

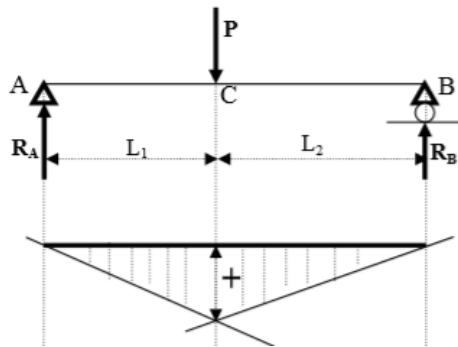


Gambar 2.8 Penggambaran shear forces diagram (SFD) dengan cara grafis.

Pada Gambar 2.8 di atas menunjukkan bahwa nilai gaya lintang akan positif apabila perputaran gaya yang bekerja searah dengan jarum jam, dan diarsir tegak lurus dengan sumbu batang yang menerima gaya melintang. Sebaliknya, bila perputaran gaya yang bekerja berlawanan arah dengan perputaran jarum jam, diberi tanda negatif dan diarsir sejajar dengan sumbu batang.

2.3.2.3 Momen lentur (bending momen)

Momen lentur adalah gaya yang menahan lentur sumbu batang.



Gambar 2.9 Penggambaran bending moment diagram (BMD)

dengan cara grafis.

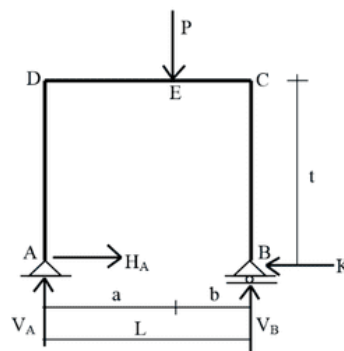
Momen adalah hasil kali antara gaya dengan jaraknya. Jarak disini adalah jarak tegak lurus dengan garis kerja gayanya. Dalam **Gambar 2.9** di atas berarti bahwa pada titik C terjadi momen sebesar:

$$M_c = R_A \cdot L_1$$

Bidang momen diberi tanda positif jika bagian bawah atau bagian dalam yang mengalami tarikan. Bidang momen positif diarsir tegak lurus sumbu batang yang mengalami momen. Sebaliknya, apabila yang mengalami tarikan pada bagian atas atau luar bidang momen, maka diberi dengan tanda negatif. Bidang momen negatif diarsir sejajar dengan sumbu batang. Perlu diketahui bahwa momen yang berputar ke kanan belum tentu positif dan momen yang berputar ke kiri belum tentu negatif. Oleh karena itu, perjanjian tanda perlu diperhatikan dengan teliti.

2.3.2.4 Gaya Dalam Pada Portal

1. Portal dengan beban terpusat.



Gambar 2.10 Gambar Portal Dengan Beban Tepusat
Sumber : Bahan Ajar Statika (Mulyati, ST., MT)

Berdasarkan keseimbangan gaya luar dapat dihitung besarnya reaksi sebagai berikut:

- $\sum M_B = 0$

$$V_A \cdot L - P \cdot b = 0$$

$$V_A = \frac{Pb}{L} \dots\dots\dots (2.18)$$

- $\sum M_A = 0$

$$V_B \cdot L - P \cdot b = 0$$

$$V_B = \frac{Pa}{L} \dots\dots\dots (2.19)$$

- $\sum H = 0$

$$H_A - K = 0$$

$$H_A = K \dots\dots\dots (2.20)$$

Sebagaimana lazimnya gaya dalam pada batas-batas AD, DE, EC, dan BC.

Cara mencari gaya dalam seperti halnya pada balok. Dengan cara seperti itu dapat diturunkan sebagai berikut :

- AD $0 \leq y \leq t$

$$M_y = -V_A \cdot y$$

$$L_y = -H_A$$

$$N_y = -V_A$$

- DE $0 \leq x \leq a$

$$M_x = V_A \cdot x - H_A \cdot t$$

$$L_x = V_A$$

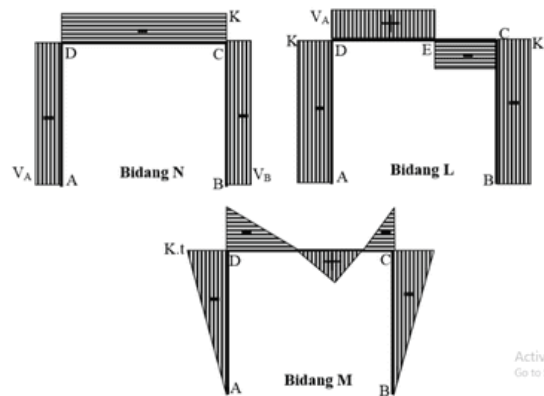
$$N_x = -K$$

- BC $0 \leq y \leq t$

$$N_y = -V_B$$

$$L_y = K$$

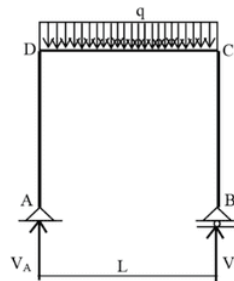
$$M_y = -K \cdot y$$



Gambar 2.11 Diagram Gaya Dalam yang Bekerja dengan Beban Terpusat
 Sumber : Bahan Ajar Statika (Mulyati, ST., MT)

Portal dengan balok mendatar dan tiangnya tegak, diletakkan di atas dua tumpuan A dan B dibebani muatan terbagi rata q . Pada struktur demikian reaksi-reaksi terdapat pada perletakan A berupa reaksi vertikal V_A dan perletakan B berupa reaksi vertikal V_B .

2. Portal Dengan Beban Terbagi Rata Pada Balok



Gambar 2.12 Portal Dengan Beban Terbagi Rata Pada Balok
 Sumber : Bahan Ajar Statika (Mulyati, ST., MT)

Berdasarkan keseimbangan gaya luar dapat dihitung besarnya reaksi sebagai berikut :

- $\sum M_B = 0$

$$V_A \cdot L - \frac{qL^2}{2} = 0$$

$$V_A = \frac{qL}{2} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$\square \sum M_A = 0$$

$$V_B \cdot L - \frac{qL^2}{2} = 0$$

$$V_B = \frac{qL}{2} \dots \dots \dots (2.22)$$

Gaya dalam pada batas-batas AD, DC, dan BC. Cara mencari gaya dalam seperti halnya pada balok. Dengan cara seperti itu dapat diturunkan sebagai berikut:

$$\square \text{AD } 0 \leq y \leq t$$

$$M_y = 0$$

$$L_y = 0$$

$$N_y = -V_A$$

$$\square \text{DC } 0 \leq x \leq L$$

$$M_x = V_A \cdot x - \frac{qx^2}{2}$$

$$L_x = V_A - qx$$

$$N_x = 0$$

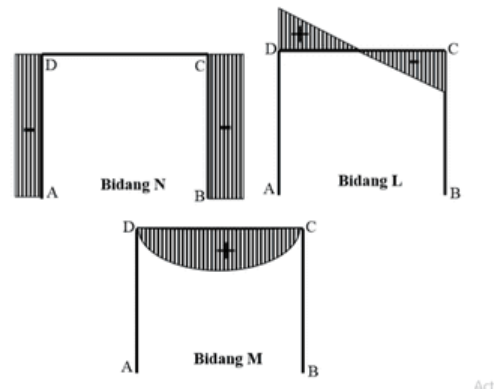
$$\square \text{BC } 0 \leq y \leq t$$

$$N_y = -V_B$$

$$L_y = 0$$

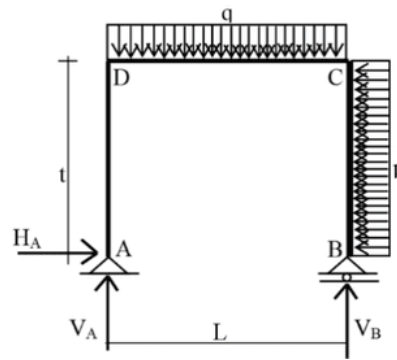
$$M_y = 0$$

Dari persamaan gaya-gaya dalam dapat digambarkan diagram bidang N, L, dan M, sebagai berikut :



Gambar 2.13 Diagram Gaya-Gaya Dalam Pada Portal Dengan Beban Terbagi Rata Pada Balok
 Sumber : Bahan Ajar Statika (Mulyati, ST., MT)

3. Portal Dengan Beban Terbagi Rata Pada Balok dan Tiang



Gambar 2.14 Portal Dengan Beban Terbagi Rata Pada Balok dan Tiang
 Sumber : Bahan Ajar Statika (Mulyati, ST., MT)

▪ $\sum M_B = 0$

$$V_A \cdot L - \frac{qL^2}{2} - \frac{pt^2}{2} = 0$$

$$V_A = \frac{qL}{2} + \frac{pt^2}{2L} \dots\dots\dots (2.23)$$

▪ $\sum M_A = 0$

$$V_B \cdot L + \frac{qL^2}{2} - \frac{pt^2}{2} = 0$$

$$V_B = \frac{qL}{2} - \frac{pt^2}{2L} \dots\dots\dots (2.24)$$

Keseimbangan gaya dalam adalah sebagai berikut :

- AD $0 \leq y \leq t$

$$M_y = -H_A \cdot y$$

$$L_y = -H_A$$

$$N_y = -V_A$$

- DC $0 \leq x \leq L$

$$M_x = V_A \cdot x - \frac{qx^2}{2} - H_A$$

$$L_x = V_A - qx$$

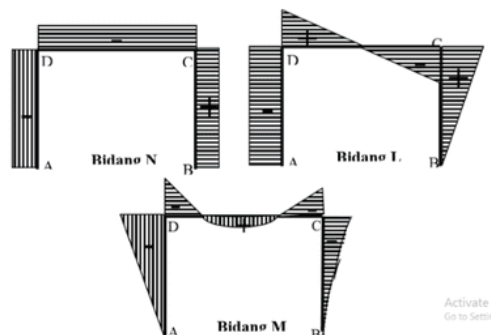
$$N_x = -H_A$$

- BC $0 \leq y \leq t$

$$N_y = -V_B$$

$$L_y = p \cdot y$$

$$M_y = -\frac{py^2}{2}$$



Gambar 2.15 Portal Dengan Beban Terbagi Rata Pada Balok dan Tiang
Sumber : Bahan Ajar Statika (Mulyati, ST., MT)

2.3.3 Formulasi Umum Sifat Penampang Datar

Dalam analisis struktur, khususnya mekanika bahan sering kali muncul kebutuhan untuk mendefinisikan sifat-sifat geometris (geometrical properties)

bidang datar yang digunakan. Misalnya, beban aksial yang bekerja pada suatu batang akan menimbulkan intensitas gaya (tegangan) yang dihitung sebagai besaran gaya per satuan luas penampang, sehingga muncul kebutuhan untuk menentukan luas tampang datar dalam perhitungan tegangan.

Bahasan materi dalam bagian ini mencakup penyajian formulasi dan langkah penghitungan beberapa sifat geometris bidang datar. Sifat-sifat geometris tampang datar (cross-sectional properties) yang sering diterapkan dalam mekanika bahan di antaranya; luas, momen statis dan momen inersia. Semua besaran sifat tampang datar dapat diwakili oleh formulasi terpadu yang ada di bawah ini.

$$M_x^m = \int_A y^m dA \dots\dots\dots (2.25)$$

$$M_y^n = \int_A x^n dA \dots\dots\dots (2.26)$$

$$M_x^m y^n = \int_A y^m x^n dA \dots\dots\dots (2.27)$$

$$M_r^n = \int_A r^n dA = \int_A (x^2 + y^2)^{n/2} dA \dots\dots\dots (2.28)$$

di mana M_x^m merupakan momen ke- m dari tampang datar terhadap sumbu X, M_y^n momen ke- n terhadap sumbu Y dan M_r^n adalah momen ke- n dari tampang datar terhadap sumbu Z, sedangkan $M_x^m y^n$ merupakan momen sentrifugal tampang datar.

2.3.4 Luas Penampang

Luas tampang (A) merupakan luas bidang datar yang dihitung menurut fungsi sumbu X dan Y, mewakili luas tampang melintang elemen struktur yang menanggung beban di atasnya. Rumus untuk menghitung luas tampang merupakan

kasus paling khusus dari Persamaan yang di mana $m = n = 0$, sehingga diperoleh Persamaan.

$$A = \int_A dA \dots\dots\dots (2.29)$$

di mana dalam tata sumbu Kartesius misalnya, dapat digunakan bentuk diferensial luas $dA = dx.dy$.

2.3.5 Momen Inersia

Momen Inersia (I_x dan I_y) merupakan momen kedua dari luasan tampang (A) yang dihitung menurut kwadrat jarak antara pusat berat luasan (A) dengan sumbu yang ditinjau (X dan Y), sedangkan momen inersia (J) yang dihitung terhadap sumbu yang tegak lurus luasan tampang (sumbu Z) disebut sebagai momen inersia polar. Nilai ketiga jenis momen inersia tersebut (I_x , I_y dan J) selalu berharga positif. Momen sentrifugal (I_{xy}) yang dihitung berdasarkan jarak luasan tampang terhadap sumbu X dan Y dapat mengambil semua nilai real (positif, negatif maupun nol).

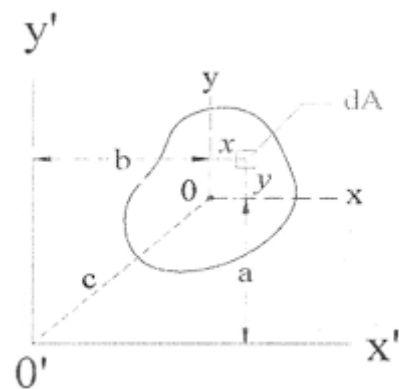
$$I_x = M_x^2 = \int_A y^2 dA \dots\dots\dots (2.30)$$

$$I_y = M_y^2 = \int_A x^2 dA \dots\dots\dots (2.31)$$

$$I_{xy} = M_{xy} = \int_A yx dA \dots\dots\dots (2.32)$$

$$J = M_r^2 = \int_A r^2 dA = \int_A (x^2 + y^2) dA = I_x + I_y \dots\dots\dots (2.33)$$

$$I_{xy} = M_x^2 = \int_A y^2 dA \dots\dots\dots (2.34)$$



Gambar 2.16 Momen Inersia Tampang Datar

Berikut adalah beberapa contoh momen inersia dari beberapa penampang :

Tabel 2.10 Contoh Tampang Momen Inersia

No.	Gambar	Nama Benda	Letak Sumbu Putar	Momen Inersia
1.		tatang homogen panjang l	melalui pusat	$I = \frac{1}{12} m l^2$
2.		batang homogen panjang l	melalui ujung	$I = \frac{1}{3} m l^2$
3.		silinder tipis berongga dengan jari-jari R	melalui sumbuanya	$I = M R^2$
4.		silinder tebal berongga dengan jari-jari dalam R_1 dan jari-jari luar R_2	melalui sumbuanya	$I = \frac{1}{2} M (R_1^2 + R_2^2)$
5.		silinder pejal dengan jari-jari R	melalui sumbuanya	$I = \frac{1}{2} M R^2$
6.		silinder pejal dengan jari-jari R	melalui pusat	$I = \frac{1}{4} M R^2 + \frac{1}{12} M l^2$
7.		bola pejal dengan jari-jari R	melalui pusat	$I = \frac{2}{5} M R^2$
8.		bola pejal	melalui ujung	$I = \frac{2}{3} M R^2$
9.		bola berongga dengan jari-jari R	melalui pusat	$I = \frac{2}{3} M R^2$
10.		lempeng tipis dengan panjang a dan lebar b	melalui pusat	$I = \frac{1}{12} M (a^2 + b^2)$
11.		lempeng tipis dengan panjang a	melalui sumbuanya	$I = \frac{1}{12} M a^2$

2.3.6 Radius Girasi

Radius (jari-jari) girasi didefinisikan sebagai sebagai letak suatu titik terhadap tata sumbu yang melalui pusat berat tampang, di mana apabila seluruh permukaan dipusatkan di sana akan memberikan momen inersia yang sama terhadap sumbu tersebut. Dalam bentuk Persamaan matematis dapat dinyatakan bahwa :

$$r_x^2 A = I_x$$

$$r_y^2 A = I_y$$

$$r_z^2 A = J$$

Radius girasi r_x, r_y, r_z dinyatakan dengan :

$$r_x = \left(\frac{I_x}{A}\right)^{1/2} \dots\dots\dots (2.35)$$

$$r_y = \left(\frac{I_y}{A}\right)^{1/2} \dots\dots\dots (2.36)$$

$$r_z = \left(\frac{J}{A}\right)^{1/2} \dots\dots\dots (2.37)$$

Besaran radius girasi memberikan indikasi tendensi penyebaran permukaan tampang relatif terhadap pusat berat. Untuk luas tampang (A) yang sama dengan nilai radius girasi yang lebih besar maka semakin jauh pula titik-titik permukaan menyebar dari pusat permukaan tampang, dan semakin kecil jari-jari girasi maka semakin dekat sebaran titik-titik permukaan dari pusat berat. Radius (jari-jari) girasi terhadap sumbu X dan Y (r_x dan r_y) selalu bernilai positif.

2.3.6.1 Struktur Statis Tertentu

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:

A. Struktur 2 Dimensi : 3 Syarat Keseimbangan yaitu,

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

B. Struktur 3 dimensi : 6 Syarat Keseimbangan yaitu,

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

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

2.3.7 Struktur Statis Tak Tentu

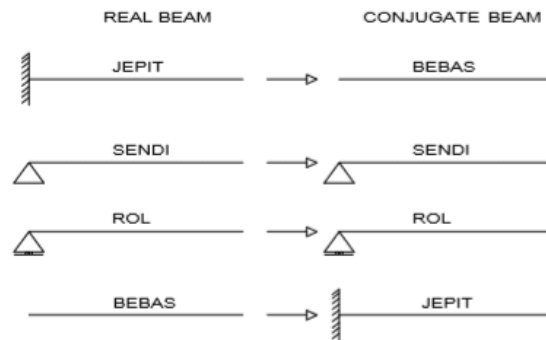
Suatu sistem struktur dapat dikategorikan sebagai struktur statis tak tentu apabila jumlah reaksi perletakan atau gaya-gaya dalamnya melebihi jumlah persamaan kesetimbangan yang ada untuk dipergunakan dalam proses analisis (Setiawan, 2015)

2.3.7.1 Metoda 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;

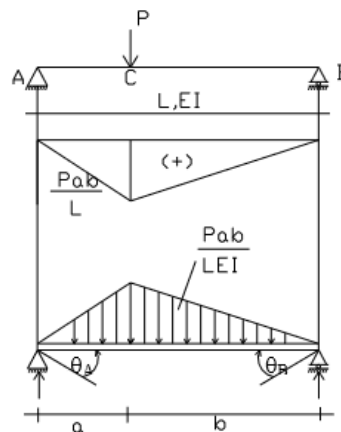
1. Hitung dan gambarkan bidang momen akibat beban luar pada balok sebenarnya (real beam)
2. Hasil bidang momen (M/EI) di jadikan beban pada balok conjugate (imaginary beam) , dimana perletakan aktual dirubah menjadi perletakan pada balok imajinari sesuai ketentuan dibawah ini



Gambar 2.17 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.

Contoh kondisi Bentang sederhana dibebani dengan beban terpusat tidak tepat ditengah bentang;



Gambar 2.18 Contoh Kondisi Bentang Sederhana
Metode Conjugate Beam

Menghitung gaya lintang dan momen

$$\Sigma M_C = 0$$

$$V_A \cdot a - MC = 0$$

$$M_C = \frac{Pb}{L} \cdot a$$

$$M_C = \frac{Pab}{L}$$

Maka :

$$M_C = \frac{P \cdot a \cdot b}{LEI} \dots\dots\dots (2.38)$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-V_B \cdot L + \frac{1}{2} b \left(\frac{Pab}{LEI} \right) \left(\frac{1}{3} b + a \right) + \frac{1}{2} a \left(\frac{Pab}{LEI} \right) \cdot \frac{2}{3} b = 0$$

$$-V_B \cdot L + \left(\frac{pab^2}{2LEI} \right) \left(\frac{1}{3} b + a \right) + \left(\frac{pa^3b}{3LEI} \right) = 0$$

$$V_B = \frac{pab}{6L^2EI} \left(\frac{1}{3}b^2 + ab + \frac{2}{3}a^2 \right) \dots\dots\dots (2.39)$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$-V_A \cdot L - \frac{1}{2} a \left(\frac{Pab}{LEI} \right) \left(\frac{1}{3} a + b \right) - \frac{1}{2} b \left(\frac{Pab}{LEI} \right) \cdot \frac{2}{3} a = 0$$

$$-V_A \cdot L - \left(\frac{pa^2b}{2LEI} \right) \left(\frac{1}{3} a + b \right) + \left(\frac{pab^3}{3LEI} \right) = 0$$

$$V_A = \left(\frac{pa^2b}{2L^2EI} \right) \left(\frac{1}{3} a + b \right) + \left(\frac{pab^3}{3L^2EI} \right) = 0$$

$$V_A = \frac{pa^2b}{2L^2EI} \left(\frac{1}{3}a^2 + ab - \frac{2}{3}b^2 \right) \dots\dots\dots (2.40)$$

$$D_A = \theta_A = \frac{pab}{2L^2EI} \left(\frac{1}{3}a^2 + ab - \frac{2}{3}b^2 \right) \dots\dots\dots (2.41)$$

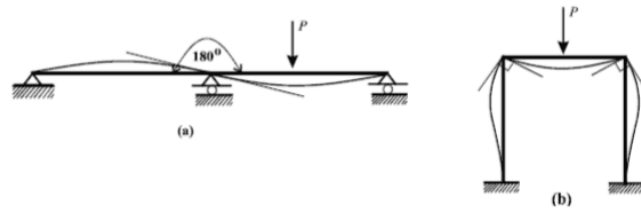
$$D_B = \theta_B = - \frac{pab}{2L^2EI} \left(\frac{1}{3}b^2 + ab - \frac{2}{3}a^2 \right) \dots\dots\dots (2.42)$$

2.3.7.2 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 ($\sum M = 0$), kecuali pada tumpuan yang berdiri sendiri.



Gambar 2.19 Balok menerus dan portal

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.

A. Momen Jepit Ujung (*Fixed End Moment = Momen Primer*)

Momen jepit ujung (Momen Primer) ialah momen pada batang yang ujungnya dijepit sempurna.

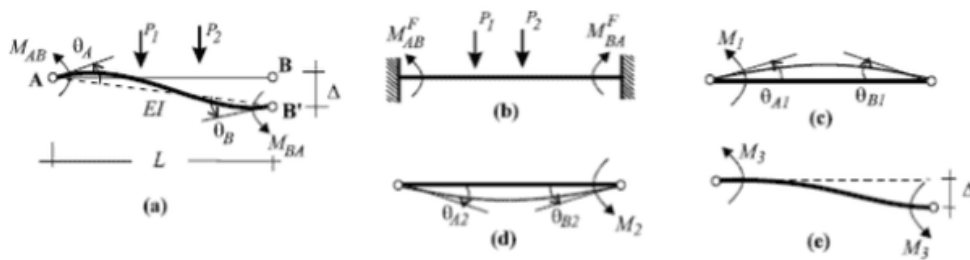
Tabel 2.11 Momen Primer Balok

No.	Balok dan Pembebanan	Momen Primer (FEM)
1		$M_{AB}^F = \frac{Pb}{2L^2}(L^2 - b^2)$
2		$M_{AB}^F = \frac{w}{2L^2} \left[\frac{L^2 x^2}{2} - \frac{x^4}{4} \right]_{x1}^{x2}$
3		$M_{AB}^F = \frac{1}{8}wL^2$
4		$M_{AB}^F = \frac{Pab^2}{L^2}$ $M_{BA}^F = -\frac{Pba^2}{L^2}$
5		$M_{AB}^F = \frac{w}{L^2} \left[\frac{Lx^3}{3} - \frac{x^4}{4} \right]_{x1}^{x2}$ $M_{BA}^F = -\frac{w}{L^2} \left[\frac{Lx^3}{3} - \frac{x^4}{4} \right]_{x4}^{x5}$
6		$M_{AB}^F = \frac{1}{12}wL^2$ $M_{BA}^F = -\frac{1}{12}wL^2$

Catatan : untuk selanjutnya momen primer yang digunakan hanya pada kasus dukungan jepit-jepit, kasus nomor 4 sampai 6.

B. Persamaan Slope Deflection

Momen ujung batang pada struktur dipengaruhi oleh beban luar pada batang, rotasi ujung dekat, rotasi ujung jauh dan perpindahan joint. Hal ini dapat dijelaskan seperti pada gambar.



Gambar 2.20 Rotasi dan Translasi Joint Pada Balok

Dengan menggunakan tabel dapat ditentukan

$$\theta_{A1} = \frac{M_1 L}{3EI} \qquad \theta_{A2} = \frac{M_2 L}{3EI}$$

$$\theta_{B1} = \frac{M_1 L}{6EI} \qquad \theta_{B2} = \frac{M_2 L}{3EI}$$

pada gambar a : $\theta_A = \theta_{A1} + \theta_{A2}$

$$\theta_B = \theta_{B1} + \theta_{B2}$$

dari persamaan diatas dieliminasi sehingga didapatkan

$$M_1 = \frac{2EI}{L} (-2\theta_A - \theta_B) \dots\dots\dots (2.43)$$

$$M_2 = \frac{2EI}{L} (-2\theta_B - \theta_A) \dots\dots\dots (2.44)$$

Akibat penurunan relatif joint B terhadap A sebesar Δ akan diperoleh hubungan

$$M_3 = \frac{6EI}{L^2} \Delta \dots\dots\dots (2.45)$$

Sehingga momen ujung pada A adalah jumlah dari momen ujung M_{AB}^F , M_1 dan M_3 sedangkan momen ujung pada B merupakan jumlah momen M_{BA}^F , M_2 dan M_3 dan dapat dituliskan sebagai:

$$M_{AB} = M_{AB}^F + \frac{2EI}{L} (-2\theta_A - \theta_B + 3R) \dots\dots\dots (2.46)$$

$$M_{BA} = M_{BA}^F + \frac{2EI}{L} (-2\theta_B - \theta_A + 3R) \dots\dots\dots (2.47)$$

Persamaan tersebut disebut dengan persamaan *Slope Deflection*

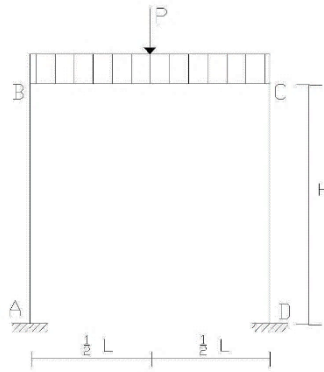
Perjanjian tanda untuk momen, rotasi, translasi dan reaksi gaya ditentukan sebagai berikut:

1. Momen searah jarum jam diberi tanda negatif, sedang momen berlawanan arah jarum jam diberi tanda positif;
2. Rotasi searah jarum jam diberi tanda positif, rotasi berlawanan arah jarum jam diberi tanda negatif;
3. Translasi ke kanan/atas diberi tanda positif, translasi ke kiri/bawah diberi tanda negatif;

4. Reaksi arah ke kanan dan ke atas diberi tanda positif, sedang reaksi arah ke kiri dan kebawah diberi tanda negatif.

Menentukan momen ujung/ ujung primer

Portal jepit



Gambar 2.21 Portal jepit

$$M_{0BA} = M_{0AB} = 0$$

$$M_{0BC} = \left[\frac{qL^2}{12} + \frac{p(\frac{L}{2})(\frac{L}{2})^2}{L} \right]$$

$$M_{0BC} = - \left[\frac{qL^2}{12} + \frac{p(\frac{L}{2})(\frac{L}{2})^2}{L} \right] \dots\dots\dots (2.48)$$

$$M_{0CD} = M_{0DC} = 0$$

Persamaan slope deflection

$$M_{AB} = M_{0BA} + \frac{2EI}{L} (-2\theta_B - \theta_B + 3R) \dots\dots\dots (2.49)$$

$$M_{BA} = M_{0AB} + \frac{2EI}{L} (-2\theta_B - \theta_B + 3R) \dots\dots\dots (2.50)$$

$$M_{BC} = M_{0BC} + \frac{2EI(\epsilon l)}{L} (-2\theta_B - \theta_C) \dots\dots\dots (2.51)$$

$$M_{CB} = M_{0CB} + \frac{2EI(\epsilon l)}{L} (-2\theta_C - \theta_B) \dots\dots\dots (2.52)$$

$$M_{CD} = M_{0CD} + \frac{2EI}{L} (-2\theta_C - \theta_D + 3R) \dots\dots\dots (2.53)$$

$$M_{DC} = M_{0DC} + \frac{2EI}{L}(-2\theta_D - \theta_C + 3R) \dots \dots \dots (2.54)$$

Syarat dan ketentuan :

Joint A jepit sehingga $\theta_A = 0$

Joint D jepit sehingga $\theta_D = 0$

Pada joint B $\sum M_B = 0$ sehingga $M_{BA} + M_{BC} = 0$

Pada joint C $\sum M_C = 0$ sehingga $M_{CB} + M_{CD} = 0$

$$\left(M_{0BA} + \frac{2EI}{L}(-2\theta_B - \theta_B + 3R) \right) + \left(M_{0BC} + \frac{2EI(\epsilon I)}{L}(-2\theta_B - \theta_C) \right) = 0$$

$$\left(M_{0CB} + \frac{2EI(\epsilon I)}{L}(-2\theta_C - \theta_B) \right) + \left(M_{0CD} + \frac{2EI}{L}(-2\theta_C - \theta_D + 3R) \right) = 0$$

Persamaan goyangan :

$$RH_A = - \left(\frac{M_{AB} + M_{BA}}{h} \right) \dots \dots \dots (2.55)$$

$$RH_D = - \left(\frac{M_{CD} + M_{DC}}{h} \right) \dots \dots \dots (2.56)$$

$$H_A + H_B = 0$$

$$- \left(\frac{M_{AB} + M_{BA}}{h} \right) - \left(\frac{M_{CD} + M_{DC}}{h} \right) = 0 \dots \dots \dots (2.57)$$

Reaksi perletakan akiba beban

$$RV_{B1} = \frac{qL}{2} + \frac{p}{2} \dots \dots \dots (2.58)$$

$$RV_{C1} = - \frac{qL}{2} - \frac{p}{2} \dots \dots \dots (2.59)$$

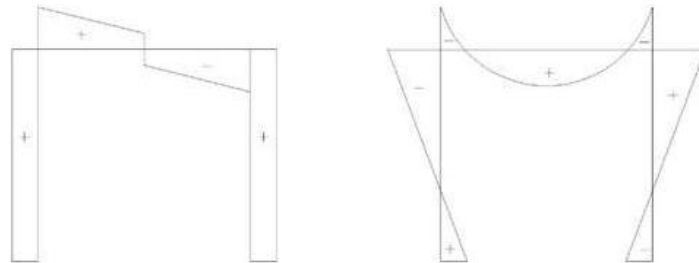
Reaksi perletakan akiba momen :

$$RH_A = \left(\frac{M_{AB} + M_{BA}}{h} \right) \dots \dots \dots (2.60)$$

$$RH_D = \left(\frac{-M_{CD} - M_{DC}}{h} \right) \dots \dots \dots (2.61)$$

$$RV_{B2} = \left(\frac{-M_{BC} + M_{CB}}{h} \right) \dots\dots\dots (2.62)$$

$$RV_{C2} = \left(\frac{M_{CB} - M_{BC}}{h} \right) \dots\dots\dots (2.63)$$



Gambar 2.22 SFD dan BMD

2.3.7.3 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 ($\sum_{i=1}^n MT_i = 0$)
2. Kestabilan : rotasi batang-batang yang bertemu pada sebuah titik simpul yang disambung secara kaku sama besar dan arahnya ($\theta_{T1} = \theta_{T2} = \dots \theta_{T3}$)

Metoda “Persamaan Tiga Momen”, memakai momen-momen batang dan pergoyangan (defleksi Δ) pada struktur-struktur yang dapat bergoyang sebagai variabel (bilangan yang tidak diketahui). Untuk menentukan apakah sebuah struktur dapat bergoyang atau tidak, dapat dilihat dari teori sebagai berikut :

Suatu titik simpul mempunyai dua kemungkinan arah pergerakan, yaitu vertikal dan horizontal. Perletakan jepit dan perletakan sendi tidak dapat bergerak vertikal maupun horizontal, sedangkan perletakan rol dapat bergerak hanya pada

satu arah yaitu searah bidang perletakan. Batang dibatasi oleh dua titik simpul, sehingga pergerakan titik simpul searah batang sama.

Dari konsep tersebut dapat dirumuskan :

$$n = 2j - (m + 2f + 2h + r) \dots\dots\dots (2.64)$$

Dimana :

- n = jumlah derajat kebebasan dalam pergoyangan.
- j = “joint”, titik simpul termasuk perletakan
- m = “member”, jumlah batang yang dibatasi oleh dua joint.
- f = “fixed”, jumlah perletakan jepit.
- h = “hinge”, jumlah perletakan sendi.
- r = “rol”, jumlah perletakan rol

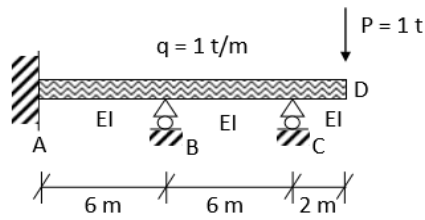
Apabila $n < 0$, struktur tidak dapat bergoyang.

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

- Jumlah momen-momen batang yang bertemu pada satu titik simpul sama dengan nol.
 - Rotasi batang-batang yang bertemu pada satu titik sama, besar dan arahnya.
- Dan kalau ada variabel Δ perlu persamaan keseimbangan struktur.

Langkah-langkah penyelesaian metode persamaan tiga momen :

1. Tentukan apakah struktur statis tidak tertentu tersebut mempunyai pergoyangan



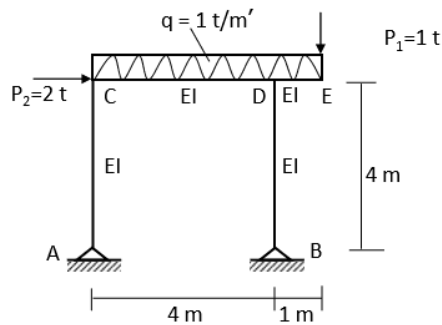
Gambar 2.23 Contoh Bentang

Balok diatas tiga tumpuan, A jepit, B dan C rol, dengan beban seperti tergambar :

$$n = 2j - (m + 2f + 2h + R) \dots\dots\dots (2.65)$$

$$n = 2 \times 3 - (2 + 2 \times 1 + 2 \times 0 + 2) \dots\dots\dots (2.66)$$

$$n = 0 \text{ (Tidak ada penggoyangan)} \dots\dots\dots (2.67)$$



Gambar 2.24 Contoh Portal

Suatu portal dengan perletakan A dan B sendi, dengan ukuran dan beban seperti tergambar

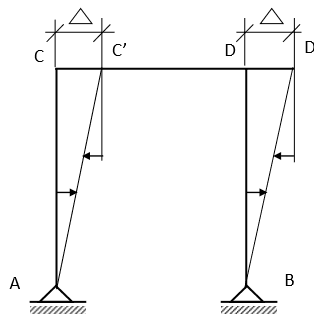
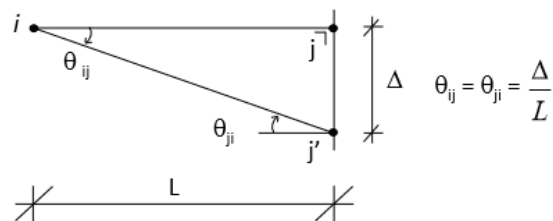
$$n = 2j - (m + 2f + 2f + R) \dots\dots\dots (2.68)$$

$$n = 2 \times 4 - (3 + 2 \times 0 + 2 \times 2 + 0) \dots\dots\dots (2.69)$$

n = 1 ada sebuah bentuk pergoyanga

2. Kalau ada pergoyangan, gambarkan bentuk pergoyangan dan tentukan arah rotasi batang – batang akibat pergoyangan tersebut. Dalam menggambarkan bentuk pergoyangan ada dua ketentuan yang harus diperhatikan yaitu :

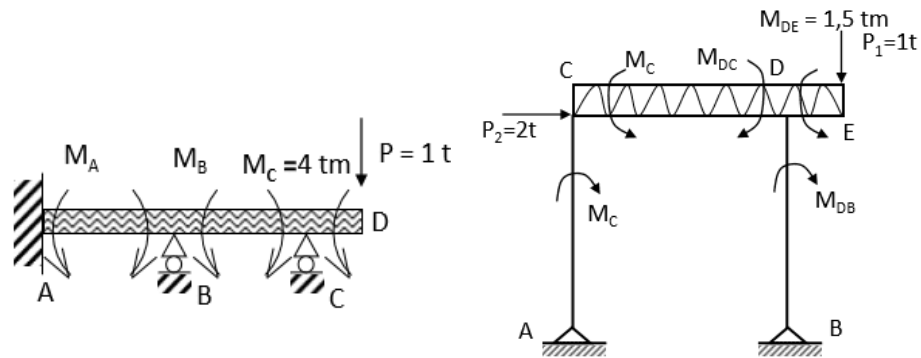
- Batang tidak berubah panjang, Suatu batang (ij) kalau joint i bergerak ke kanan sebesar Δ , maka joint j juga akan berpindah ke kanan sebesar Δ .
- Batang dapat berotasi akibat perpindahan relatif ujung-ujung batang. Perpindahan relatif antara ujung-ujung batang dapat digambarkan tegak lurus sumbu batang dan arah rotasi digambarkan dari arah asli sumbu batang ke arah sumbu batang setelah bergoyang,



Gambar 2.25 Portal Pergoyangan

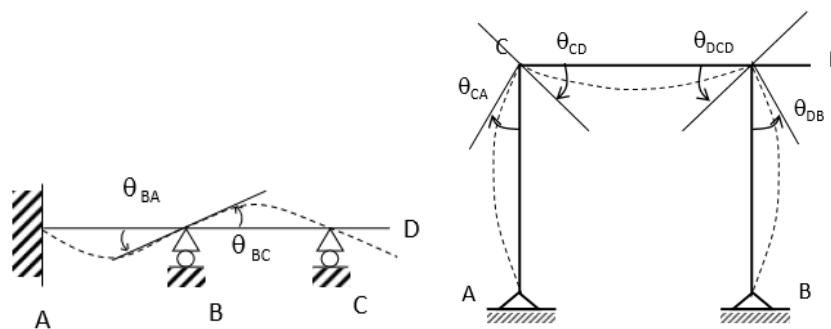
3. Gambarkan permisalan arah momen-momen batang. Untuk momen kantilever, dapat dihitung besarnya dan ditentukan secara pasti arah putarannya, sedangkan untuk momen- momen batang yang lain besar maupun arahnya dimisalkan dengan mengingat ketentuan bahwa jumlah momen-momen batang

yang bertemu pada satu titik simpul sama dengan nol. Jadi kalau pada satu titik simpul bertemu dua batang, maka besarnya momen-momen batang tadi sama, tetapi arahnya berlawanan.



Gambar 2. 1 Pemisalan Arah Momen Batang

4. Gambarkan pemisalan bentuk garis elastis struktur. Untuk menggambarkan pemisalan bentuk garis elastis struktur, harus mengingat ketentuan bahwa rotasi batang-batang yang bertemu pada satu titik simpul adalah sama, besar maupun arahnya. Jadi kalau salah satu batang yang bertemu pada satu titik dimisalkan rotasinya searah jarum jam, maka batang-batang yang lain yang bertemu pada titik simpul tersebut harus digambarkan dengan arah rotasi yang sama yaitu searah jarum jam.

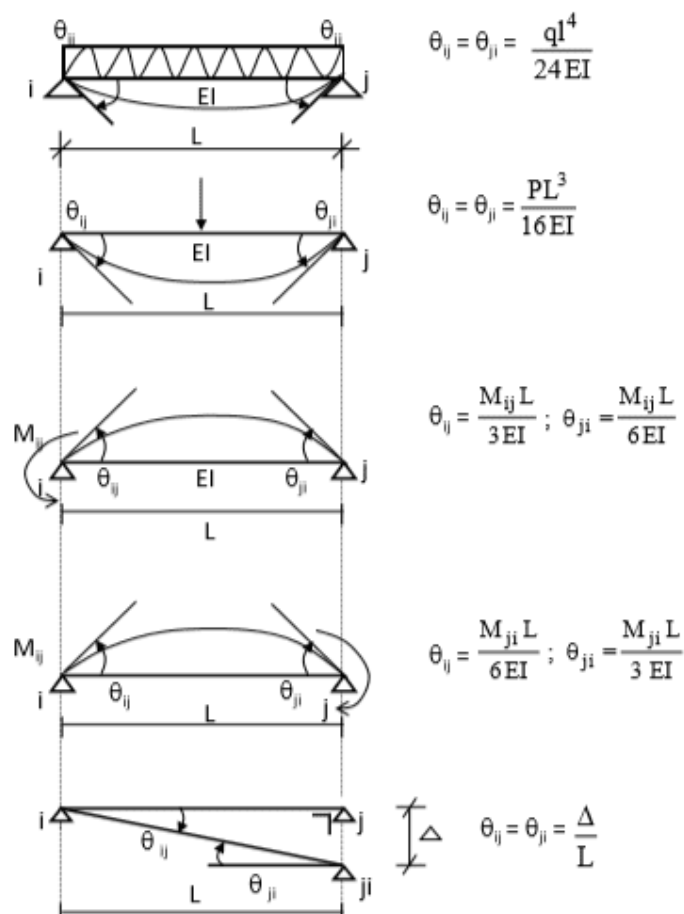


Gambar 2. 2 Pemisalan Garis Elastis

5. Dari langkah 1-4 yang telah dikerjakan diatas dapat ditentukan jumlah variabelnya, yaitu momen-momen batang yang belum diketahui besarnya dan perpindahan relatif ujung batang (Δ) kalau ada goyangan.
6. Untuk menghitung variable-variable diatas, susunlah persamaan-persamaan sejumlah variable yang ada. Penyusunan persamaan – persamaan tersebut berdasarkan ketentuan keseimbangan momen dan rotasi batang-batang pada titik simpul atau perletakan.
 - a. Momen batang-batang yang bertemu pada satu titik simpul sama dengan nol. Untuk momen batang yang digambarkan dengan arah sama, diberi tanda sama. Misalnya kalau searah jarum jam diberi tanda positif (+). Maka yang berlawanan arah jarum jam diberi tanda negatif (-) , atau sebaliknya.
 - b. Rotasi batang dengan perletakan jepit sama dengan nol.
 - c. Rotasi batang-batang yang bertemu pada satu titik simpul sama besar maupun arahnya . Untuk menyusun persamaan rotasi harus memperhatikan permissalan garis elastis (rotasi batang) dengan beban dan momen – momen yang ada pada batang tersebut. Kalau arah rotasi batang pada permissalan garis elastis sesuai dengan rotasi batang yang diakibatkan oleh beban dan momen batang yang bekerja diberi tanda positif (+) , kalau sebaliknya diberi tanda negatif (-).
 - d. Kalau ada variable pergoyangan (Δ) maka perlu tambahan persamaan keseimbangan struktur. Disini kita buat perhitungan “ free body diagram” dengan arah momen-momen batang seperti yang dimisalkan , sehingga

kita mendapatkan satu persamaan yang menghubungkan antara variable satu dengan yang lainnya.

7. Dari persamaan-persamaan yang disusun diatas , maka variable-variable yang berupa momen-momen batang tadi dapat dihitung besarnya. Kalau nilai variable yang didapat positif (+), maka arah momen permisalan benar, sedangkan kalau nilainya negatif (-), maka arah momen yang dimisalkan terbalik.
8. Setelah momen-momen diperoleh, dengan perhitungan keseimbangan tiap-tiap batang (free body diagram), bidang momen, gaya lintang dan gaya normal dari struktur statis tidak tertentu tersebut dapat digambarkan.



Gambar 2.26 Nilai Rotasi Pada Balok

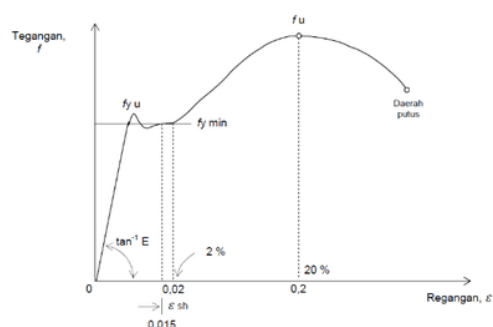
2.4 Material Baja

Baja adalah logam paduan dengan besi (Fe) sebagai unsur dasar dan karbon (C) sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,2% hingga 2,1% berat sesuai grade-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguatan pada kisi kristal atom besi (Rogi dkk, 2020)

Struktur portal baja bidang adalah suatu struktur yang dibentuk dari penyusunan elemen-elemen balok-kolom dari profil baja dalam bidang melalui titik simpul pada ujungnya yang dianggap kaku namun masih dapat berputar tanpa perubahan sudut antar elemen sebelum dan sesudah beban bekerja. Terdapat beberapa cara yang bisa dilakukan untuk membuat struktur yang stabil.

2.4.1 Sifat Mekanik Baja

Untuk mengetahui sifat mekanik baja dilakukan pengujian tarik terhadap benda uji dengan memberikan gaya tarikan sampai benda uji menjadi putus. Hasil uji tarik dalam bentuk kurva tegangan-regangan pada setiap tahapan beban akan menunjukkan perilakunya.



Gambar 2.27 Kurva tegangan-regangan hasil pengujian

Sifat mekanik tiap jenis baja dapat dilihat dalam **Tabel 2.11** berikut

Tabel 2.12 Sifat Mekanik Beberapa Jenis Baja

Je nis Baja	Tegangan putus minimum, f_u (MPa)	Tegangan leleh minimum f_y , (MPa)	Peregangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 51	550	410	13

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

Modulus elastisitas baja (E) = 200.000 MPa

Modulus geser (G) = 76.923,08 MPa

Angka *poisson* (μ) = 0,30

2.5 Mateial Beton

Beton adalah campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan yang membentuk massa padat. Sifat beton berubah karena sifat semen, agregat dan air, maupun perbandingan pencampurannya. Untuk mendapatkan beton optimum pada penggunaan yang khas, perlu dipilih bahan yang sesuai dan dicampur secara tepat.

Beton memiliki kelebihan diantaranya :

1. Mempunyai kekuatan tekan yang tinggi, serta mempunyai sifat tahan terhadap pengkaratan atau pembusukan oleh kondisi lingkungan.
2. Adukan beton mudah diangkut maupun dicetak dalam bentuk dan ukuran sesuai keinginan.

3. Kuat tekan beton jika dikombinasikan dengan baja akan mampu memikul beban yang berat.
4. Adukan beton dapat disemprotkan di permukaan beton lama yang retak maupun diisikan ke dalam retakan beton dalam proses perbaikan. Selain itu dapat pula dipompakan ke tempat yang posisinya sulit.
5. Biaya perawatan yang cukup rendah karena termasuk tahan aus dan tahan kebakaran.

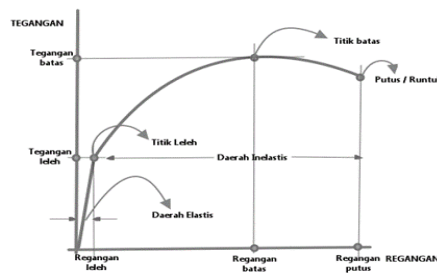
Selain kelebihan beton juga memiliki kekurangan diantaranya :

1. Beton dianggap tidak mampu menahan gaya tarik, sehingga mudah retak. Oleh karena itu perlu diberi baja tulangan sebagai penahannya.
2. Beton keras menyusut dan mengembang bila terjadi perubahan suhu. Sehingga perlu dibuat dilatasi (*expansion joint*) untuk mencegah terjadinya retakanretakan akibat perubahan suhu.
3. Untuk mendapatkan beton kedap air secara sempurna, harus dilakukan dengan pengerjaan yang teliti.
4. Beton bersifat getas (tidak daktil) sehingga harus dihitung dan diteliti secara seksama agar setelah dikompositkan dengan baja tulangan menjadi bersifat daktil.

2.5.1 Kuat Beton terhadap gaya tekan

Perilaku komponen struktur beton bertulang pada waktu menahan berbagai beban di antaranya ialah gaya aksial, lenturan, gaya geser, puntir, ataupun merupakan gabungan dari gaya-gaya tersebut. Secara umum dapat dipahami bahwa perilaku tersebut tergantung pada hubungan regangan-tegangan yang terjadi di

dalam beton dan juga jenis tegangan yang dapat ditahan. Karena sifat bahan beton yang hanya mempunyai nilai kuat tarik relatif rendah, maka pada umumnya hanya diperhitungkan bekerja dengan baik di daerah tekan pada penampangnya, dan hubungan regangan-tegangan yang timbul karena pengaruh gaya tekan tersebut digunakan sebagai dasar pertimbangan (Aulia, 2019).



Gambar 2.28 Tegangan-regangan pada beton

Sementara itu berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1 untuk melindungi tulangan terhadap bahaya korosi maka di sebelah tulangan luar harus diberi selimut beton. Untuk beton bertulang, tebal selimut beton minimum yang harus disediakan untuk tulangan harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

Tabel 2.13 Batasan Tebal Selimut Beton

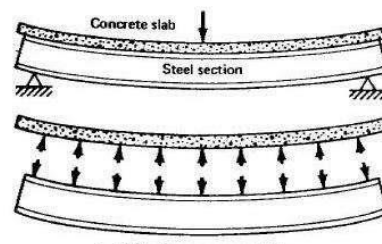
Kondisi Struktur	Selimut Beton (mm)
a. Beton yang dicor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah	75
b. Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca: Batang D-19 hingga D-57 Batang D-16, kawat M-16 ulir atau polos, dan yang lebih kecil	50 40
c. Beton yang tidak langsung berhubungan dengan cuaca atau tanah: <u>Slab, dinding, balok usuk:</u> Batang tulangan D-44 dan D-57	40 20

Batang tulangan D-36 dan yang lebih kecil	
<u>Balok, kolom:</u>	40
Tulangan utama, pengikat, sengkang, spiral	
<u>Komponen struktur cangkang, pelat lipat:</u>	20
Batang tulangan D-19 dan yang lebih besar	13
Batang tulangan D-16, kawat M-16 ulir atau polos, dan yang lebih kecil	

2.6 Material Komposit

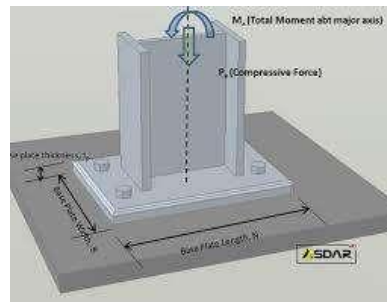
Komposit adalah suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut (bahan komposit). Dengan adanya perbedaan dari material penyusunnya maka komposit antar material harus berikatan dengan kuat, sehingga perlu adanya penambahan *wetting agent*.

Aksi komposit timbul bila dua batang struktural pemikul beban seperti konstruksi lantai beton dan balok baja penyanggah disambung secara integral dan melendut secara satu kesatuan. (Salmon & Jahson, 1997).

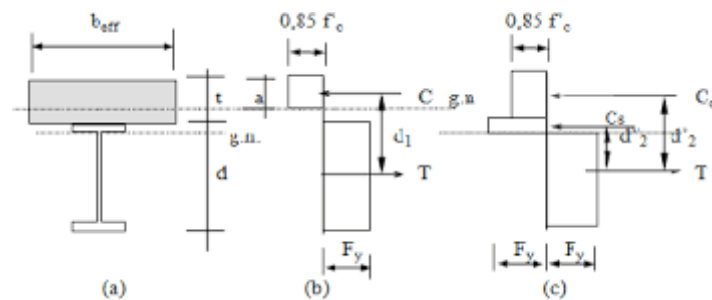


Gambar 2.29 Lendutan Balok Komposit

Sumber : Google



Gambar 2. 3 Kolom-Pondasi



Gambar 2.30 Distribusi Plastis Momen

2.7 Elemen Struktur Atas

2.7.1 Balok

Balok adalah elemen yang memikul beban transversal (Ir.Soemargo, 2014). Balok merupakan rangka horizontal yang memikul beban lentur akibat struktur tersebut. Balok juga menahan beban vertikal dan horizontal. Beban vertikal berupa berat balok itu sendiri, beban hidup, berat dinding, serta beban pelat. Beban horizontal berupa beban yang berasal dari luar seperti beban angin serta juga beban gempa.

2.7.1.1 Ketentuan Umum Balok

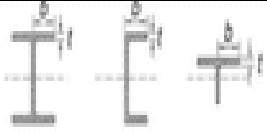
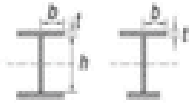
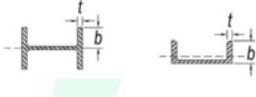
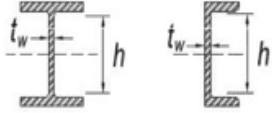
Berdasarkan SNI SNI 1729:2015 ketentuan lentur disimbolkan :

$$\phi_b M_n$$

$$\phi_b = 0,90$$

M_n = kekuatan lentur desain (ditentukan sesuai Pasal F2 – F13)

Tabel 2.14 Klasifikasi Elemen Tekan Memikul Lentur

Elemen	Rasio Tebal Terhadap Lebar	Rasio Tebal Terhadap Lebar		Contoh
		λ_p Kompak	λ_r NonKompak	
Sayap dari profil I canai panas, kanal dan T	$\frac{b}{t}$	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Sayap dari profil tersusun bentuk I simetris ganda dan tunggal	$\frac{b}{t}$	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,95 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Sayap dari semua profil I dan kanal dalam lentur pada sumbu lemah	$\frac{b}{t}$	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Badan dari profil I simetris ganda dan kana	$\frac{h}{t_w}$	$3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

Sumber: SNI 1729:2015 Tabel B4.1b

2.7.1.2 Kuat Lentur

Kuat lentur rencana balok harus memenuhi persyaratan sebagai berikut.

$$\frac{M_u}{\phi_b M_n} \leq 1 \dots\dots\dots (2.70)$$

di mana:

u = kuat lentur perlu atau momen maksimum

ϕb = faktor ketahanan lentur, sebesar 0,9

n = kuat lentur nominal balok.

Kekuatan lentur nominal (M_n), ditentukan dengan nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas dari leleh dan tekuk torsi lateral.

1. Pelelehan

Tahanan momen nominal atau kuat lentur untuk penampang kompak kondisi lastis berlaku persamaan berikut :

$$M_n = M_p = Z_x \cdot F_y \dots\dots\dots (2.71)$$

y = tegangan leleh minimum tipe baja (MPa)

Z_x = modulus penampang plastis di sumbu x, (mm^3)

2. Tekuk Torsi Lateral

a. Bila $L_b \leq L_p$, keadaan batas dari tekuk torsi-lateral tidak boleh digunakan.

b. Bila $L_b > L_p$ dan $L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \dots\dots\dots (2.72)$$

c. $L_b > L_r$

$$M_n = F_{cr} \cdot S_x \leq M_p \dots\dots\dots (2.73)$$

Keterangan:

L_b = jarak antar pertambatan lateral (mm)

L_p = pembatasan panjang tidak dibreis secara lateral untuk kondisi batas leleh

(mm)

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \dots\dots\dots (2.74)$$

L_r = pembatasan panjang tidak dibreis secara lateral untuk kondisi batas tekuk torsilateral (mm)

$$L_r = 1,95r_{ts} \frac{E}{0,7F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_0} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_0}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7F_y}{E}\right)^2}} \dots\dots\dots (2.75)$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_w C_w}}{S_x} \dots\dots\dots (2.76)$$

r_{ts} = radius girasi efektif

C_b = faktor modifikasi tekuk torsi-lateral, ditentukan sebagai berikut.

$$C_b = \frac{12,5 M_{max}}{2,5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \dots\dots\dots (2.77)$$

F_{cr} = tegangan kritis, ditentukan dengan persamaan berikut.

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{J_c}{S_x h_0} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \dots\dots\dots (2.78)$$

di mana:

E = modulus elastis baja = 29000 (200000 MPa)

J = konstanta torsi, (mm⁴)

S_x = modulus penampang elastis di sumbu x, (mm³)

h_0 = jarak antara titik berat sayap, (mm)

M_{max} = nilai mutlak momen maksimum dalam segmen tanpa di bracing (Nmm)

M_A = nilai mutlak momen pada titik 1/4 dari segmen tanpa di bracing (Nmm)

M_B = nilai mutlak momen pada sumbu segmen tanpa di bracing (Nmm)

M_C = nilai mutlak momen pada 3/4 segmen tanpa di bracing (Nmm)

2.7.1.3 Kuat Geser

Berdasarkan SNI 1729:2015 Kuat geser nominal pelat badan harus dihitung sebagai berikut:

$$\frac{Vu}{\phi v Vn} \leq 1 \dots\dots\dots (2.79)$$

u = gaya geser terfaktor maksimum.

ϕv = faktor ketahanan geser = 0,9, kecuali profil hot-rolled yaitu $\phi v=1$

Vn = kuat geser nominal.

$\phi v Vu$ = kuat geser rencana.

$$Vn = 0,6 f_y A_w C_v \dots\dots\dots (2.80)$$

Dengan A_w adalah luas kotor pelat badan. Kuat geser nominal (V_n) penampang pipa harus dihitung sebagai berikut:

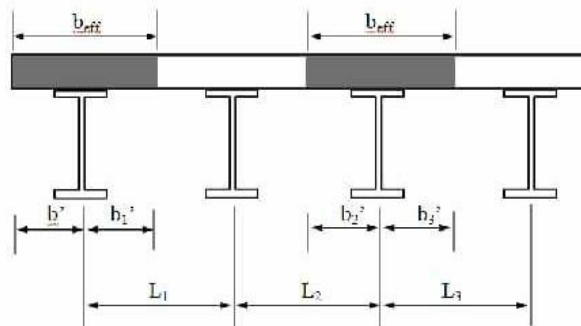
$$V_n = 0,36 f_y A_e \dots\dots\dots (2.81)$$

Dengan luas efektif penampang (A_e) harus diambil sebagai luas kotor penampang bulat berongga jika tidak ada lubang yang besarnya lebih dari yang dibutuhkan untuk alat sambung atau luas bersih lebih besar

dari 0,9 luas kotor. Jika tidak, luas efektif diambil sama dengan luas bersih.

2.7.2 Balok Komposit

2.7.2.1 Lebar Balok Komposit



Gambar 2.31 Lebar efektif balok komposit

Perencanaan lebar efektif (b_{eff}) balok komposit dengan metode LRFD tidak lagi memperhitungkan batasan-batasan yang berhubungan dengan tebal plat beton, serta tidak membedakan balok dalam dan balok tepi. Lebar efektif plat beton pada setiap sisi sumbu memanjang balok maksimal adalah :

- a. Balok interior

$$b_{eff} \leq 1/4 L$$

$$b_{eff} \leq b_0$$

- b. Balok Eksterior

$$b_{eff} \leq 1/8 L + \text{jarak pusat ke tepi pelat}$$

$$b_{eff} \leq 1/2 b_0 + \text{jarak antara pusat balok ke tepi pelat.}$$

Dari perhitungan di atas tersebut, nilai terkecil yang menentukan.

2.7.2.2 Tegangan pada Balok Komposit

Untuk mengetahui tekanan di bagian balok komposit, harus mengetahui dulu tentang pusat gravitasi bagian komposit. Pertama, kita perlu mengetahui pusat

gravitasi bagian itu, karena perbedaan antara baja dan beton juga perlu dikonversi di baja penampang Metode konversi adalah sebagai berikut:

$$\text{Luas transformasi} = \frac{A_c}{n} \dots\dots\dots (2.82)$$

Dimana:

A_c = Luas pelat beton efektif

b_E = Tebal pelat

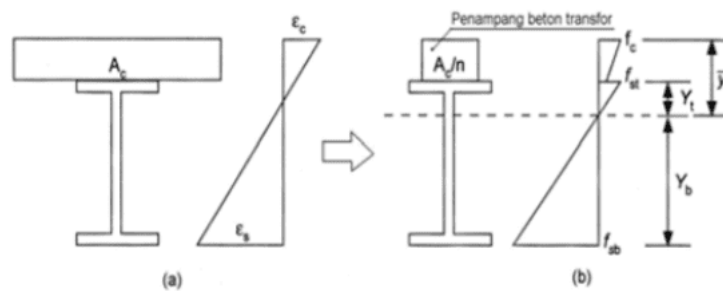
n = Rasio modulus = E_s / E_c

E_s = Modulus elastisitas baja (200000 MPa)

E_c = Modulus elastisitas beton = $4700 \sqrt{f_c'}$ (MPa)

f_c' = kuat tekan rencana pada usia 28 hari (MPa)

Dalam menentukan nilai pusat gravitasi dan momen inersia agar mendapatkan besar tegangan yang terjadi. Ukuran penampang pada bagian melintang adalah sebagai berikut:



Gambar 2.32 Diagram Tegangan dan Regangan

pada Balok Komposit dengan Luas

$$f_{st} = \frac{M \cdot y_t}{I} \dots\dots\dots (2.83)$$

$$f_{sb} = \frac{M \cdot y_b}{I} \dots\dots\dots (2.84)$$

$$f_c = \frac{M \cdot \bar{y}}{I} \dots\dots\dots (2.85)$$

Dimana:

M = momen yang terjadi

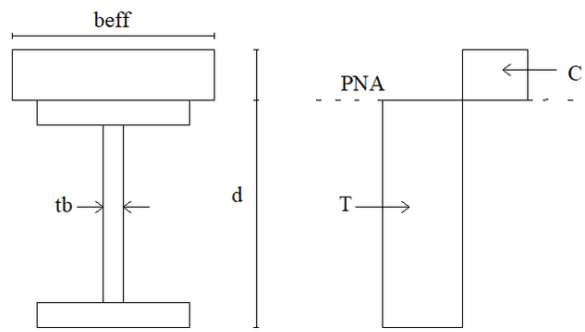
I = momen inersia penampang

y_b = jarak titik berat pada penampang dengan tepi bawah penampang
baja

y_t = jarak titik berat pada penampang dengan tepi atas penampang baja

\bar{y} = jarak titik berat pada penampang dengan tepi atas penampang beton

2.7.2.3 Sumber Netral Plastis Terletak pada Pelat Beton



Gambar 2.33 PNA Terletak pada Pelat Beton

Apabila sumbu netral plastis terletak pada pelat beton, maka berlaku persamaan-persamaan berikut. Gaya tekan C adalah:

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot bE \dots\dots\dots (2.86)$$

Gaya Tarik T pada profil baja sebesar:

$$T = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots (2.87)$$

Dari keseimbangan gaya $C = T$ maka diperoleh nilai a sebesar:

$$\alpha = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot bE} \dots\dots\dots (2.88)$$

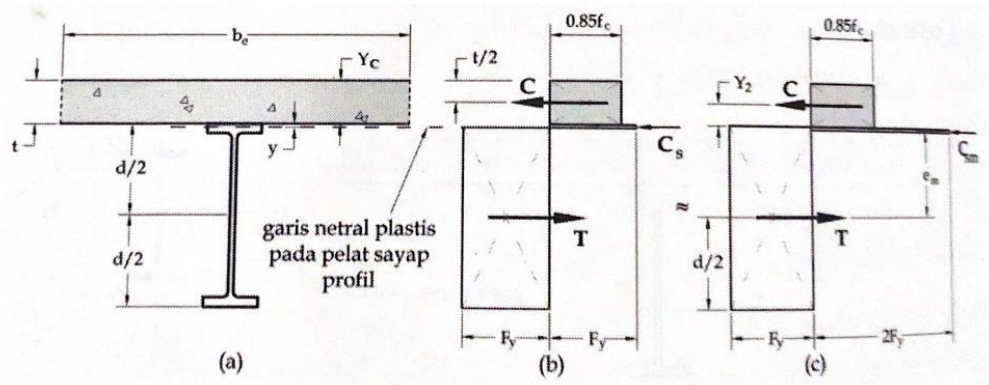
Kekuatan lentur nominal dapat dihitung dengan:

$$M_n = C \cdot d_1 \dots\dots\dots (2.89)$$

$$M_n = T \cdot d_1 \dots\dots\dots (2.90)$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(\frac{d}{2} + t b - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots (2.91)$$

2.7.2.4 Sumbu Netral Plastis Terletak pada Profil Baja



Gambar 2.34 Distribusi Plastis Sumbu Netral Terletak Pada Baja

Apabila sumbu netral plastis terletak pada profil baja, maka berlaku persamaan-persamaan berikut. Gaya tekan Cc adalah:

$$C_c = 0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b E \cdot t b \dots\dots\dots (2.92)$$

Dari keseimbangan gaya diperoleh:

$$T' = C_c + C_s \dots\dots\dots (2.93)$$

Besarnya T' ditentukan sebagai:

$$T' = A_s \cdot f_y - C \dots\dots\dots (2.94)$$

Sehingga didapat nilai Cs

$$C_s = \frac{(A_s \cdot f_y) - C_c}{2} \dots\dots\dots (2.95)$$

$$C_s = \frac{(A_s \cdot f_y) - 0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b E \cdot t b}{2} \dots\dots\dots (2.96)$$

Kekuatan lentur nominal dapat dihitung dengan:

$$M_n = C_c \cdot d_2' + C_s \cdot d_2' \dots\dots\dots (2.97)$$

2.7.2.5 Kekuatan Lentur Positif

Kekuatan lentur positif desain, $\phi_b M_n$, harus ditentukan untuk keadaan batas leleh sebagai berikut $\phi_b = 0,90$.

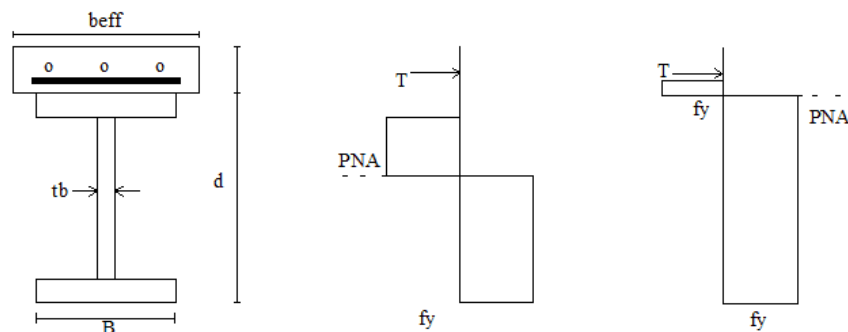
$$1. \text{ Untuk } \frac{h}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

M_n harus ditentukan dari distribusi tegangan plastis pada penampang komposit untuk keadaan batas leleh (Momen plastis)

$$2. \text{ Untuk } \frac{h}{t_w} > 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

M_n harus ditentukan dengan superposisi tegangan elastis, dengan memperhitungkan efek penopangan, untuk keadaan batas leleh (momen leleh)

2.7.2.6 Kekuatan Lentur Negatif



Gambar 2.35 Kondisi distribusi tegangan plastis penampang komposit

Kekuatan lentur negatif tersedia harus ditentukan untuk penampang baja sendiri. Alternatif, kekuatan lentur negatif yang tersedia harus ditentukan dari distribusi tegangan plastis pada penampang komposit, untuk keadaan batas leleh (momen plastis), dimana :

$$\phi_b = 0,90$$

Gaya tarik T pada tulangan plat adalah yang terkecil dari :

$$T = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots (2.98)$$

$$T = \sum Q_n \dots\dots\dots (2.99)$$

Perhitungan kuat lentur nominal berdasar distribusi tegangan plastis sama seperti kasus momen positif, dengan cara mengganti C dengan T. Penghubung Geser.

2.7.3 Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka yang memikul beban dari balok. Kolom berfungsi meneruskan beban seluruh bangunan menuju pondasi (Arifin dkk, 2019). Kelebihan dari elemen struktur kolom baja dibandingkan dengan kolom beton bertulang adalah sebagai berikut.

1. Mempunyai kontrol mutu yang baik, karena diproduksi di pabrik yang menjamin mutu sesuai kebutuhan dibandingkan kolom beton yang dibuat ditempat.
2. Bobot kolom baja lebih ringan dibandingkan kolom beton bertulang.
3. Baja mempunyai kekuatan, kekakuan dan kestabilan yang tinggi sehingga dimensi kolom baja dapat lebih kecil dibandingkan kolom beton bertulang.

2.7.3.1 Ketentuan Umum

Kekuatan tekan desain disimbolkan sebagai: $\phi_c P_n$

di mana:

$$\phi_c = 0,9$$

P_n = kekuatan tekan nominal, harus nilai terendah yang diperoleh berdasarkan pada keadaan batas dari tekuk lentur, tekuk torsi dan tekuk torsi-lateral.

2.7.3.2 Panjang Efektif

Persamaan panjang efektif dan rasio kelangsingan berdasarkan SNI 1729:2015, adalah sebagai berikut.

$$KL/r < 20 \dots\dots\dots (2.100)$$

Di mana:

K = panjang efektif (mm)

L = panjang struktur tanpa breising lateral (mm)

r = radius girasi (mm)

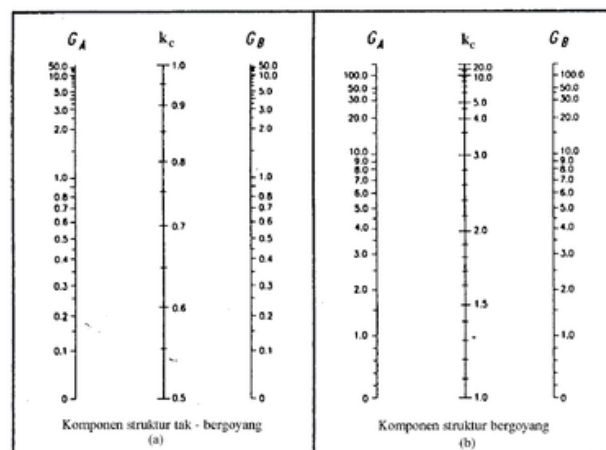
2.7.3.3 Kelangsingan

Untuk batang-batang yang direncanakan terhadap tekan, angka perbandingan

kelangsingan, $\lambda = \frac{Lk}{r}$ Dimana,

Lk = panjang tekuk = k . L

r = jari-jari inertia.



Sumber : SNI 03-1729-2002

Gambar 2.36 Nilai k (a) untuk komponen tak bergoyang

dan (b) nilai k untuk komponen bergoyang

Panjang tekuk (Lk) batang tekan sangat tergantung kepada jenis perletakkannya, seperti kolom dengan tumpuan jepit dapat mengekang ujungnya dari berotasi dan translasi, sehingga mampu menahan beban yang lebih besar dibandingkan tumpuan sendi

Garis terputus menunjukkan diagram kolom tertekuk	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Nilai c , teoritis	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Nilai d , yang dianjurkan untuk kolom yang mendekati kondisi ideal	0,85	0,80	1,2	1,0	2,10	2,0
Kode ujung						

Sumber : SNI 03-1729-2002

Gambar 2.37 Nilai k_c untuk kolom dengan ujung-ujung yang ideal.

$$G = \frac{\sum \left[\frac{I}{L} \right] c}{\sum \left[\frac{I}{L} \right] b} \dots\dots\dots (2.101)$$

2.7.3.4 Tekuk Lentur

Tekuk Lentur Tekuk lentur adalah fenomena tekuk global pada penampang dengan klasifikasi elemen yang tidak langsing. Beban kritis yang menyebabkan tekuk tersebut telah dirumuskan oleh Euler. Sampai saat ini rumus tersebut telah dijadikan acuan dalam menentukan kuat nominal batang tekan (P_n). Agar sesuai dengan cara perencanaan batang tarik, maka luas penampang utuh atau gross (A_g) dijadikan konstanta tetap, adapun variabelnya adalah tegangan kritis (F_{cr}), yang dituliskan dalam format berikut :

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g \dots\dots\dots (2.102)$$

Tegangan kritis, F_{cr} dihitung berdasarkan syarat berikut:

Jika, $\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ atau $\frac{F_y}{F_e} \leq 2,25$, tekuk elastik, maka:

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) \cdot F_y \dots\dots\dots (2.103)$$

Jika $\frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ atau $\frac{F_y}{F_e} > 2,25$ maka:

$$F_{cr} = 0,877 F_e \dots\dots\dots (2.104)$$

Di mana:

F_e = tegangan tekuk kritis elastis, ditentukan dengan persamaan:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K}{L}\right)^2} \dots\dots\dots (2.105)$$

2.7.3.5 Tekuk Torsi dan Torsi Lentur

Fenomena tekuk, adapun selain lentur yaitu puntir (tekuk torsi), atau gabungan dari keduanya yaitu tekuk lentur-torsi. Hal ini biasa terjadi pada penampang dengan kekakuan torsi yang relatif kecil, atau pusat geser dan pusat beratnya tidak berhimpit. Kapasitas tekan nominal penampang kolom yang tidak-langsing terhadap tekuk torsi dan lentur-torsi sebagai berikut :

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g \dots\dots\dots (2.106)$$

Tegangan kritis, F_{cr} dihitung berdasarkan syarat berikut:

Jika penampang siku ganda atau tee

$$F_{cr} = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2 H}\right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 F_{cry} \cdot F_{crz} \cdot H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}}\right] \dots\dots\dots (2.107)$$

Sedangkan untuk penampang yang lain, F_{cr} tetap dengan rumus tekuk lentur, tetapi tegangan tekuk elastis F_e dihitung dengan memasukkan pengaruh kekakuan torsi batangnya sebagai berikut :

Profil dengan sumbu simetri ganda, maka:

$$F_e = \left(\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GI \right) \frac{1}{I_x + I_y} \dots\dots\dots (2.108)$$

Profil dengan sumbu simetri tunggal, maka:

$$F_e = \left(\frac{F_{ey} + F_{ez}}{2 H} \right) \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 F_{ey} \cdot F_{ez} \cdot H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right] \dots\dots\dots (2.109)$$

b. Kuat Rencana terhadap Beban Aksial dan Lentur

Batang baja terhadap gaya aksial saja (tarik atau tekan) hanya cocok untuk perencanaan struktur rangka batang (truss) yang dibebani pada titik buhul, dan berat sendirinya relatif kecil dibanding beban yang dipikul. Sedangkan batang baja dengan momen lentur hanya cocok untuk struktur balok, yang besar momen lenturnya lebih dominan dibanding gaya geser yang terjadi. Struktur yang elemen batangnya menerima kombinasi dari gaya aksial dan momen sekaligus harus direncanakan dengan perhitungan batang portal (balok-kolom). Pada dasarnya perencanaan batang portal ditinjau terhadap kuat tekan dan juga kuat lentur yang terjadi. Dari tinjauan kuat tekan akibat gaya aksial dan kuat lentur akibat gaya lentur nantinya akan dihubungkan dengan persamaan interaksi antara kuat tekan dan kuat lentur sebagai berikut :

$$\text{Jika } \frac{N_u}{\phi N_n} \geq 0,2 ; \text{ maka: } \frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{ux}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{uy}} \right) \leq 1,0$$

$$\text{Jika } \frac{N_u}{\phi N_n} \leq 0,2 ; \text{ maka: } \frac{N_u}{2 \cdot \phi N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

Dimana :

N_u = Gaya tekan aksial terfaktor

N_n = Tahanan tekan nominal dengan menganggap batang sebagai suatu elemen tekan murni

ϕ = Faktor reduksi tahanan tekan = 0,85

M_{ux} = Momen lentur terfaktor terhadap sumbu x, dengan memperhitungkan efek orde kedua

M_{nx} = Tahanan momen nominal untuk lentur terhadap sumbu x

ϕ_b = Faktor reduksi tahanan lentur = 0,90

N_u = Gaya tekan aksial terfaktor

M_{uy} = Momen lentur terfaktor terhadap sumbu y, dengan memperhitungkan efek orde kedua

M_{ny} = Tahanan momen nominal untuk lentur terhadap sumbu y

Dalam pembahasan yang telah disebutkan bahwa besarnya momen lentur terfaktor dari suatu komponen struktur balok kolom dihitung dengan menggunakan analisis orde kedua. SNI 03-1729-2015 menyatakan bahwa pengaruh orde kedua harus diperhatikan melalui salah satu dari dua analisis berikut ini :

1. Suatu analisis orde pertama dengan memperhitungkan pembesaran momen
2. Analisis orde kedua menuturkan cara-cara yang telah baku dan telah diterima secara umum.

Dalam tugas akhir ini pengaruh orde kedua akan diperhitungkan dengan menggunakan cara analisis orde pertama yaitu dengan memperhitungkan pembesaran momen.

Untuk suatu komponen struktur tak bergoyang, maka besarnya momen lentur terfaktor harus dihitung sebagai berikut ini :

$$M_u = B_1 \cdot M_{nt} \dots\dots\dots (2.110)$$

Dimana:

M_{nt} = Momen lentur terfaktor orde pertama yang diakibatkan oleh beban-beban yang tidak menimbulkan goyangan

B_1 = Faktor pembesaran momen untuk komponen struktur tak bergoyang, yang besarnya ditentukan sebagai berikut :

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{P_{u1}}} \dots\dots\dots (2.111)$$

Dimana:

P_u = Gaya tekan aksial terfaktor

P_{u1} = Gaya tekan menurut Euler dengan kL/r terhadap sumbu lentur dan $k \leq 1,00$ (untuk komponen struktur tak bergoyang)

Untuk nilai C_m ditentukan sebagai berikut:

1. untuk komponen struktur tak bergoyang dengan beban transversal diantara kedua tumpuannya, maka besar C_m dapat ditentukan berdasarkan analisis rasional sebagai berikut :

$C_m = 1,00$ untuk komponen struktur dengan ujung sederhana

$C_m = 0,85$ untuk komponen struktur dengan ujung kaku

2. sedangkan untuk komponen struktur tak bergoyang tanpa beban transversal di antara kedua tumpuannya, namun mempunyai momen ujung M_1 dan M_2 ($M_1 < M_2$), maka C_m akan mengkonversikan momen lentur yang bervariasi secara linier menjadi momen lentur seragam $M_E = C_m \cdot M_2$

$$C_m = 0,6 - 0,4 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \dots\dots\dots (2.112)$$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots (2.113)$$

Rasio M_1 / M_2 bernilai negatif untuk kelengkungan tunggal, dan bernilai positif pada kelengkungan ganda. Untuk komponen struktur bergoyang, maka besarnya momen lentur terfaktor harus diperhitungkan sebagai berikut ini:

$$M_u = B_1 \cdot M_{nt} + B_2 \cdot M_{lt} \dots\dots\dots (2.114)$$

Dengan M_{lt} adalah momen lentur terfaktor orde pertama yang diakibatkan oleh beban-beban yang dapat menimbulkan goyangan.

Faktor pembesaran momen, B_2 ditentukan sebagai berikut :

$$B_{2y} = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{\sum P_{e2}}} \dots\dots\dots (2.115)$$

Dimana:

$\sum P$ = Jumlah gaya aksial tekan terfaktor akibat beban gravitasi untuk seluruh kolom pada satu tingkat yang sedang ditinjau.

$\sum P_{e2}$ = Jumlah gaya aksial tekan terfaktor akibat beban gravitasi untuk seluruh kolom pada satu tingkat yang sedang ditinjau, namun dengan menggunakan k untuk komonen struktur bergoyang $k \geq 1,00$

2.7.4 Bresing (Bracing)

Bresing merupakan system struktur yang di desain untuk menahan beban lateral berupa gempa. Elemen bresing berperilaku sebagai gaya batang yang menerima gaya tarik atau tekan. Berkaitan dengan struktur bresing, terdapat 2 tipe portal yaitu :

a. Rangka bresing (*braced frames*)

Rangka bresing merupakan rangka dimana ketahanan utamanya terletak pada beban lateral, tekuk dan ketidakstabilan struktur portal seperti dalam sistem bresing vertikal.

b. Rangka tanpa bresing (*unbraced frames*)

Rangka tanpa bresing merupakan rangka dimana kekuatan lentur dari setiap batang struktur portal harus dihitung berdasar seluruh kekuatan dan kekakuannya untuk menahan beban lateral dan ketidakstabilan struktur. Pada portal bresing, balok dan kolom mendukung beban gravitasi yang disalurkan oleh sistem lantai dan atap yang bersinggungan, sedangkan system bresing vertikal mendukung beban lateral yang bekerja pada struktur.

2.7.4.1 Sistem Bresing Vertikal Kosentris

Sistem bresing vertikal konsentris merupakan sistem bresing dimana sumbu utamanya bertemu atau saling memotong dalam satu titik. Sistem ini sangat cocok dipakai dalam perancangan karena akan memberikan kekuatan dalam menahan beban-beban yang bekerja. AISC (1992) menyebutkan 5 tipe bentuk bresing vertikal konsentris, yaitu bentuk “Z” atau diagonal, *inverted V* “ \wedge ”, “V”, “X”, dan “K” seperti pada gambar berikut

2.7.4.2 Sistem Bresing Vertikal X

Sistem bresing vertikal x batang diagonalnya cenderung lebih langsing. Oleh karena itu, kapasitas tegangan tarikNya lebih besar dari kapasitas tegangan tekan sehingga diasumsikan hanya tegangan tarik diagonal yang aktif. Jika batang diagonal dipasang ketika prestress awal untuk mengurangi kelonggaran, maka batang diagonal tekan akan aktif bekerja hanya sampai proses prestress akhir sehingga dimungkinkan batang bresing diagonal lebih kecil (ASCE, 1971).

2.7.4.3 Kelangsingan Bresing

SNI 03-1729-2002 Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung mensyaratkan kelangsingan batang bresing untuk Sistem Rangka Bresing Konsentrik Khusus harus memenuhi syarat kelangsingan dalam persamaan

$$\frac{k_c L}{r} \leq \frac{2625}{\sqrt{f_y}} \dots\dots\dots (2.116)$$

dengan:

k_c = faktor panjang tekuk

L = panjang efektif komponen struktur

r = jari-jari girasi komponen struktur

f_y = tegangan leleh baja (MPa)

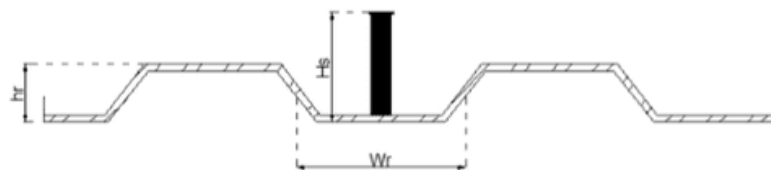
2.7.5 Deck Baja Bergelombang

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

mulai mengeras. Arah dari gelombang dek baja biasa diletakkan tegak lurus dengan balok penopangnya.

Persyaratan untuk dek baja gelombang dan penghubung gesernya jika akan digunakan dalam komponen struktur komposit diatur dalam SNI 03-1729-2015 pasal I3.2c. Dalam pasal ini diisyaratkan sebagai berikut :

1. Tinggi maksimum untuk dek baja, $h_r \leq 75$ mm, lebar rata-rata minimum dari dek 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 disambungkan ke balok baja dengan angkur steel headed stud di-las baik pada dek ataupun penampang melintang baja. Diameter stud maksimum 19 mm.
3. Tebal pelat di atas dek baja tidak boleh kurang dari 50 mm
4. Dek baja harus diangkurkan ke semua komponen struktur pendukung pada spasi tidak lebih dari 460 mm.



Gambar 2.38 Penampang melintang dek baja gelombang

Jika gelombang pada dek baja dipasang tegak lurus terhadap balok penopangnya, maka kuat nominal penghubung geser jenis paku harus direduksi dengan suatu faktor, r_s yang besarnya ditetapkan sebagai berikut ini :

$$r_s = \frac{0,85}{\sqrt{Nr}} \left(\frac{wr}{hr} \right) \left[\frac{Hs}{hr} - 1,0 \right] \leq 1,0 \dots\dots\dots (2.117)$$

Keterangan :

rs = Faktor reduksi

Nr = Jumlah penghubung geser jenis paku pada setiap gelombang dalam potongan melintang balok baja

Hs = Tinggi pada penghubung geser jenis paku $\leq (hr + 75 \text{ mm})$

hr = Tinggi nominal pada gelombang dek baja

wr = Lebar efektif dari gelombang dek baja 2

2.8 Struktur Bawah

Pondasi dalam istilah ilmu tekNik sipil dapat didefinisikan sebagai bagian dari struktur bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah dan berfungsi untuk menyalurkan beban-beban yang diterima dari struktur atas ke lapisan tanah. Jenis dan tipe-tipe pondasi, yaitu :

1. Jenis-jenis pondasi dangkal

Pondasi dangkal terdiri dari beberapa macam, antara lain pondasi telapak, pondasi lajur, pondasi gabungan, serta pondasi raft/rakit.

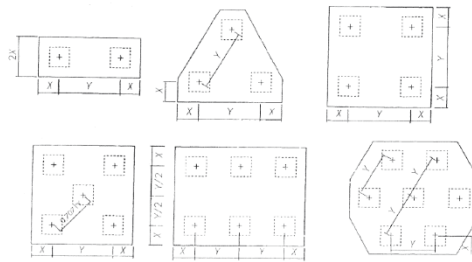
2. Jenis-jenis pondasi dalam

Pada beberapa kondisi yang dijumpai di lapangan, terkadang lapisan tanah sebagai dasar pondasi, terletak cukup dalam dari lapisan muka tanah atau dengan kata lain, lapisan tanah tersebut memiliki daya dukung yang kurang bagus. Sebagai alternatifnya, dapat dipilih sistem pondasi dalam berupa tiang pancang atau *bor pile*.

Tiang pancang umumnya sudah dicetak di pabrik (*precast*) dan kemudian dikirim ke lokasi proyek untuk menjalani proses pemancangan. Jenis pondasi tiang

yang lain adalah *bor pile*. Pada jenis ini tiang dicor di tempat (*in-situ*) setelah sebelumnya dilakukan proses pengeboran pada titik tiang, panjang tiang dapat disesuaikan secara langsung di lapangan.

Pondasi tiang pada umumnya hadir dalam suatu grup tiang yang diikat oleh satu buah *pile cap*. Satu *Pile cap* dapat terdiri dari beberapa tiang yang bekerja sebagai satu kesatuan. Gambar 2.31 menunjukkan beberapa jenis pondasi tiang dalam suatu grup tiang. Jarak antar tiang pusat ke pusat (Y) dibatasi sebesar 2,5 hingga 3 kali diameter tiang, sedangkan jarak ke as tiang pancang ke tepi *pile cap* (X) juga dibatasi sebesar 1 hingga 1,5 kali diameter tiang.



Gambar 2.39 Pondasi grup tiang

2.8.1 Pondasi Tiang Pancang

2.8.1.1 Data Karakteristik dan Daya Dukung Tanah

Dalam merencanakan struktur bawah diperlukan data-data mengenai karakteristik tanah tempat struktur tersebut berada dan beban struktur yang bekerja di atas struktur bawah yang direncanakan. Karakteristik tanah meliputi jenis lapisan tanah di bawah permukaan tanah, kadar air, tinggi muka air tanah, dtt. Beban struktur yang bekerja tergantung dari jenis material yang digunakan, jumlah tingkat bangunan, jenis-jenis beban yang bekerja pada struktur tersebut. Hasil penyelidikan tanah yang harus dilaporkan antara lain:

1. Kondisi tanah dasar yang menjelaskan jenis lapisan tanah pada beberapa lapisan kedalaman.
2. Analisis daya dukung tanah.
3. Besar Nilai SPT dari beberapa titik bor.
4. Besar tahanan ujung konus dan jumlah hambatan pelekat dari beberapa titik sondir.
5. Hasil tes laboratorium tanah untuk mengetahui berat jenis tanah.
6. Analisis daya dukung tiang fondasi berdasarkan data-data tanah.

Setelah didapatkan data karakteristik tanah, selanjutnya dapat dihitung daya dukung tanah. Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah memikul tekanan, atau tekanan maksimum yang diijinkan bekerja pada tanah di atas fondasi yang dilambangkan dengan $\bar{\sigma}$. Daya dukung terfaktor adalah kemampuan tanah memikul tekanan atau tekanan maksimum pada batas runtuh dengan lambang σ_{alt} .

$$\bar{\sigma} = \sigma_{alt} / SF \dots\dots\dots (2.118)$$

Dimana:

SF= *safety factor*, 2 untuk beban normal, 3 untuk beban darurat.

Daya dukung tanah ditentukan dan dibatasi oleh:

1. Aman terhadap runtuhnya tanah (σ_{alt} / SF)
2. Aman terhadap penurunan akibat konsolidasi tanah sehingga penurunan total tidak terlalu besar.

Daya dukung terfaktor dipengaruhi oleh:

1. Nilai parameter tanah (ϕ, c, γ)
2. Kedalaman fondasi (D_f)

3. Ukuran dan bentuk fondasi
4. Sifat tanah terhadap penurunan
5. Kedalaman muka tanah

2.8.1.2 Daya Dukung Tiang Pancang

Perencanaan dan perhitungan pondasi dilakukan dengan membandingkan beban-beban yang bekerja terhadap dimensi pondasi dan daya dukung tanah dasar (Hardiyatmo, 2002). Jenis pondasi yang dipilih harus mempertimbangkan hal berikut.

1. Beban total yang bekerja pada struktur berupa hasil kombinasi pembebanan yang terbesar. Beban-beban yang diperhitungkan antara lain beban mati bangunan (D), beban hidup (L), beban angin (W), dan beban gempa (E).
2. Kondisi tanah dasar di bawah bangunan.
3. Faktor biaya dan efisiensi
4. Keadaan di sekitar lokasi bangunan

Dalam perancangan pondasi tiang pancang harus diperhitungkan macam-macam gaya yang bekerja, antara lain:

1. Gaya Aksial

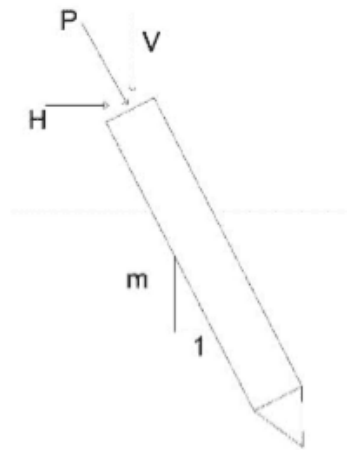
Gaya yang searah dengan sumbu tiang. Gaya aksial dibedakan menjadi axial tekan dan axial tarik. Tiang tekan dengan kombinasi 3 cara yaitu *point bearing pile*, *friction pile*, *adhesive pile*.

2. Gaya Lateral

Bekerjanya tegak lurus sumbu tiang yang ditahan oleh tekanan tanah pasif, dan dipengaruhi oleh kekuatan struktur tiang. Dipengaruhi oleh ϕ dan c .

3. Tiang Pancang yang Dipasang Tidak Lateral

Tujuannya yaitu untuk memikul kombinasi gaya horizontal yang besar dan gaya vertikal.



Gambar 2.40 Tiang pancang miring

Dengan:

$m = 4$ sampai 12

$$V = \frac{m}{\sqrt{m^2+1}} \bar{P} \dots\dots\dots (2.119)$$

$$H = \frac{1}{\sqrt{m^2+1}} \bar{P} \dots\dots\dots (2.120)$$

Daya dukung ijin tiang dapat dihitung berdasarkan beberapa metode berikut:

A. Metode Mayerhof

Daya dukung tekan

$$P_a = \frac{q_c \times A_p}{FK1} + \frac{\sum I_i \cdot f_i \times A_{st}}{FK2} \dots\dots\dots (2.121)$$

Dimana:

$P_a =$ daya dukung ijin tekan tiang

q_c = 20 N untuk silt/clay dan 40 N untuk sad

N = nilai N-SPT

A_p = luas penampang tiang

A_{st} = keliling penampang tiang

I_i = panjang segmen tiang yang ditinjau

f_i = gaya geser pada selimut segmen tiang

= N maksimum 12 ton/m² untuk slit/clay

= N/5 maksimum 5 ton/m² untuk sand

FK1 dan FK2 = faktor keamanan, 3 dan 5

Daya dukung tarik

$$P_{ta} = \frac{(\sum I_i \cdot f_i \cdot A_{st}) \cdot 0,70}{FK \ 2} + W_p \dots\dots\dots (2.122)$$

Dimana:

P_{ta} = daya dukung ijin tarik tiang

W_p = beban pondasi

B. Metode Kapasitas Terzaghi

Muka air tanah terletak di bawah tanah, sehingga berat volume tanah yang digunakan dalam menghitung kapasitas dukung tiang adalah berat volume terendam atau γ' .

$$\gamma' = \frac{(\gamma_s - 1)\gamma_w}{1 + e}$$

$$\gamma' = \frac{(G_s - 1) \cdot \gamma_w}{1 + e} \dots\dots\dots (2.123)$$

γ' = berat volume terendam (kN/m²)

γ_w = berat volume air (kN/m²)

G_s = Berat spesifik atau berat jenis tanah

e = angka pori tanah

Pengaruh air tanah pada kapasitas dukung tanah :

$$p_o' = \gamma' \cdot (D_f - d_w) + \gamma \cdot d_w \dots\dots\dots (2.124)$$

dimana :

D_f = kedalaman pondasi

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

d_w = kedalaman muka air tanah (m)

Kapasitas dukung ultimit untuk pondasi berbentuk bujur sangkar :

$$q_u = S_c \cdot c \cdot N_c + p_o' \cdot N_q + S_\gamma \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma \dots\dots\dots (2.125)$$

q_u = kapasitas ultimit pondasi

ϕ = sudut tanah

N_c = faktor daya dukung terzaghi (fungsi ϕ)

N_q = faktor daya dukung terzaghi (fungsi ϕ)

N_γ = faktor daya dukung terzaghi (fungsi ϕ)

a) Kapasitas daya dukung ujung tiang (Q_p)

Untuk tanah pasir atau granuler :

$$Q_b = A_b \cdot f_b \dots\dots\dots (2.126)$$

$$Q_b = A_b \cdot q_u \text{ atau } Q_p = A_p \cdot q_u$$

A_b = luas dasar kaisan (m^2)

Q_u = kapasitas dukung ultimit (kN/m^2)

b) Kapasitas daya dukung geser tiang/tahanan gesek tiang ultimit (Q_s)

$$Q_s = A_s \cdot f_s \dots\dots\dots (2.127)$$

A_s = luas selimut (m^2)

F_s = faktor aman (*safety factor*)

c) Kapasitas daya dukung ijin tiang

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s - W_{tiang} \dots\dots\dots (2.128)$$

Q_{ult} = kapasitas daya dukung ijin (kN/m^2)

Q_p = kapasitas ujung tiang (kN/m^2)

Q_s = kapasitas dukung geser (kN/m^2)

W_{tiang} = berat tiang (kN/m^2)

C. Metode Kapasitas Ultimit Netto Tiang Tunggal (σ_u)

$$\sigma_u = \sigma_b + \sigma_s - W_p \dots\dots\dots (2.129)$$

Dimana:

σ_u = Kapasitas ultimit netto

σ_b = Tahanan ujung ultimit

σ_s = Tahanan gesek dinding tiang ultimit

W_p = Berat sendiri

Tahanan adhesi tiang dan tanah

$$P_1 = K \cdot H \cdot c \dots\dots\dots (2.130)$$

Dimana:

P_1 = Tahanan adhesi dinding tiang ultimit

K = Luas selimut tiang

c = Adhesi antara dinding tiang dengan tanah

H = Kedalaman tiang

Tahanan gesek dinding tiang ultimit

$$P_2 = K \left(\frac{1}{2} H^2 \gamma \right) (1 + \tan^2 \phi_1) \tan \phi \dots\dots\dots (2.131)$$

Dimana:

P_2 = Tahanan gesek dinding tiang ultimit

γ = Berat isi tanah

H = Kedalaman tiang

ϕ = Sudut gesek antara dinding tiang dan tanah

Tahanan ujung tiang

$$P_3 = A_b \left((1,3 \cdot c \cdot N_c) + (H \cdot \gamma \cdot N_q) + \beta \cdot \gamma \cdot N_\gamma \right) \dots\dots\dots (2.132)$$

Dimana:

P_3 = Tahanan ujung tiang ultimit

γ = Berat isi tanah

c = Kohesi tanah di ujung tiang

H = Kedalaman tiang

A_b = Luas penampang ujung tiang

N_c, N_q, N_γ = Faktor daya dukung

2.8.1.3 Jumlah Tiang yang Diperlukan

Perhitungan jumlah tiang yang diperlukan pada suatu titik kolom menggunakan beban aksial dengan kombinasi beban DL + LL (beban tak terfaktor).

Jumlah tiang yang diperlukan dihitung dengan membagi gaya aksial yang terjadi dengan daya dukung tiang.

$$np = \frac{P}{P_{all}} \dots\dots\dots (2.133)$$

Dimana:

n_p = jumlah tiang

P = gaya aksial yang terjadi

P_{all} = daya dukung ijin tiang

2.8.1.4 Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

Jika beban struktur atas yang harus ditumpu oleh fondasi tiang terlalu besar, maka secara tunggal fondasi tiang tidak lagi mampu menopang bebabn tersebut. Untuk itu, salah satu cara untuk mengatasinya adalah dengan memasang beberapa tiang menjadi satu kelompok atau sering disebut fondasi grup tiang. Masing-masing tiang dalam satu grup diikat bagian atasnya dengan kepala tiang (pile cap).

1. Kapasitas dukung tiang gesek (*friction pile*) dalam tanah lempung akan berkurang jika jarak tiang semakin dekat. Berikut merupakan persamaan efisiensi tiang yang disarankan oleh *Converse-Labarre formula* , yaitu:

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n' - 1)m + (m - 1)n'}{90 m.n'} \dots\dots\dots (2.134)$$

Keterangan:

E_g = efisiensi kelompok tiang

m = jumlah baris tiang

n = jumlah tiang dalam satu baris

θ = arc tg d/s ($^\circ$)

s = jarak pusat ke pusat tiang (m)

d = diameter tiang (m)

Beban maksimum kelompok tiang (Q_g) yang mengakibatkan keruntuhan:

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_u \dots\dots\dots (2.135)$$

Keterangan:

Q_u = beban maksimum tiang tunggal yang mengakibatkan keruntuhan (kg).

2. Besarnya beban maksimum yang diterima oleh tiang yaitu:

Fondasi tiang yang memikul beban dan momen satu arah

$$P_{\text{terjadi}} = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{My \cdot x}{\Sigma x^2} \leq P_{\text{netto}}$$

Fondasi tiang yang memikul beban dan momen dua arah

$$P_{\text{terjadi}} = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{My \cdot x}{\Sigma x^2} \pm \frac{Mx \cdot y}{\Sigma y^2} \leq P_{\text{netto}} \dots\dots\dots (2.136)$$

$$P_{\text{maks}} = \frac{Pu}{np} \pm \frac{My \cdot X_{\text{maks}}}{ny \cdot \Sigma X^2} \pm \frac{Mx \cdot Y_{\text{maks}}}{nx \cdot \Sigma Y^2} \dots\dots\dots (2.137)$$

$$P_{\text{min}} = \frac{\Sigma P}{n} - \frac{My \cdot x}{\Sigma x^2} - \frac{Mx \cdot y}{\Sigma y^2} \leq P_{\text{netto}} P_{\text{min}} \dots\dots\dots (2.138)$$

Dimana:

P_{maks} = beban maksimum tiang

P_u = gaya aksial yang terjadi (terfaktor)

M_y = momen yang bekerja memutar sumbu y

M_x = momen yang bekerja memutar sumbu x

X_{maks} = jarak terjauh arah sumbu x

Y_{maks} = jarak terjauh arah sumbu y

ΣX^2 = jumlah kuadrat X

ΣY^2 = jumlah kuadrat Y

n_x = banyak tiang dalam satu baris arah sumbu x

n_y = banyak tiang dalam satu baris arah sumbu y

n_p = jumlah tiang

Bila P maksimum yang terjadi bernilai positif, maka pile mendapatkan gaya tekan. Sebaliknya bila P maksimum yang terjadi bernilai negatif, maka pile mendapat gaya tarik.

2.8.2 Pile Cap

2.8.2.1 Dimensi Pile Cap

Pada SNI 2847-2013 Pasal 15.7 disebutkan bahwa tebal fondasi tapak di atas tulangan bawah tidak boleh kurang dari 150 mm untuk fondasi tapak di atas tanah, atau kurang dari 300 mm untuk fondasi tapak (*footing*) di atas tiang fondasi. Tebal selimut beton minimum untuk beton yang dicor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah adalah 75 mm.

Kuat geser fondasi tapak di sekitar kolom, beban terpusat, atau daerah reaksi ditentukan oleh kondisi terberat dari dua hal berikut.

1. Aksi balok satu arah dimana masing-masing penampang kritis yang akan ditinjau menjangkau sepanjang bidang yang memotong seluruh lebar fondasi tapak.
2. Aksi dua arah dimana masing-masing penampang kritis yang akan ditinjau harus ditempatkan sedemikian hingga parameter penampang adalah minimum.

Perhitungan gaya geser satu arah dan dua arah untuk pile cap sama dengan perhitungan gaya geser satu arah dan dua arah pada fondasi telapak.

Jarak tiang pancang = $3D$

Jarak tiang ke tepi pile cap = $2D$

Kontrol gaya geser satu arah

Gaya geser yang bekerja pada penampang kritis adalah:

$$V_u = \sigma \cdot L \cdot G' \dots\dots\dots (2.139)$$

Dimana:

V_u = gaya geser

σ = P/A

L = panjang pile cap

d = tebal efektif pile cap

G' = daerah pembebanan yang diperhitungkan untuk geser penulangan
 $= L - (L/2 + \text{lebar kolom}/2 + d)$

Kuat geser beton adalah:

$$\phi V_c = \phi \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (2.140)$$

Dimana:

b = panjang pondasi

d = lebar efektif pondasi
 $= h - \text{selimut beton}$

h = tebal pondasi

V_c = gaya geser nominal yang disumbangkan oleh beton

f_c' = kuat tekan beton yang disyaratkan

V_u = gaya geser satu arah yang terjadi

$\phi V_c > V_u$

Kontrol gaya geser dua arah

Lebar penampang kritis (B') adalah:

B' = lebar kolom + $2 (1/2) d$

Gaya geser yang bekerja pada penampang kritis adalah

$$V_u = \sigma \cdot (L^2 \cdot B^2) \dots\dots\dots (2.141)$$

Dimana:

$$\sigma = P/A$$

B' = lebar penampang kritis

L = panjang pondasi

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 11.11.2.1. besar V_c adalah nilai terkecil dari beberapa persamaan berikut.

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \lambda \sqrt{f_c'} b_o \cdot d \dots\dots\dots (2.142)$$

$$V_c = 0,083 \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_o} + 2\right) \lambda \sqrt{f_c'} b_o \cdot d \dots\dots\dots (2.143)$$

$$V_c = 0,33 \lambda \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d \dots\dots\dots (2.144)$$

Dimana:

β = rasio kolom

λ = 1 (untuk beton normal)

b_o = keliling penampang kritis

α_s = 40 (untuk kolom interior), 30 (untuk kolom tepi), 20 (untuk kolom sudut)

2.8.2.2 Penulangan Pile Cap

Pada SNI 2847:2013 Pasal 15.4.2. dijelaskan bahwa momen terfaktor maksimum untuk sebuah fondasi telapak setempat harus dihitung pada penampang kritis yang terletak di:

1. Pada muka kolom, pedestal, atau dinding, untuk fondasi tapak yang menumpu kolom, pedestal, atau dinding beton;

2. Setengah jarak antara tengah dan tepi dinding, untuk fondasi tapak yang menumpu dinding pasangan (masonry).
3. Setengah jarak antara muka kolom dan tepi pelat dasar baja, untuk fondasi tapak yang menumpu kolom dengan pelat dasar baja.

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'}} \right] \dots\dots\dots (2.145)$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \dots\dots\dots (2.146)$$

$$A_{perlu} = \rho \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (2.147)$$

2.9 Sambungan

Dalam SNI 03 – 1729 – 2015 Sambungan terdiri dari komponen sambungan (pelat pengisi, pelat buhul, pelat pendukung, dan pelat penyambung) dan alat pengencang (baut dan las). Kuat rencana setiap komponen sambungan tidak boleh kurang dari beban terfaktor yang dihitung. Perencanaan sambungan harus memenuhi persyaratan berikut:

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 harus mampu memikul gaya-gaya yang bekerja padanya.

2.9.1 Sambungan Las

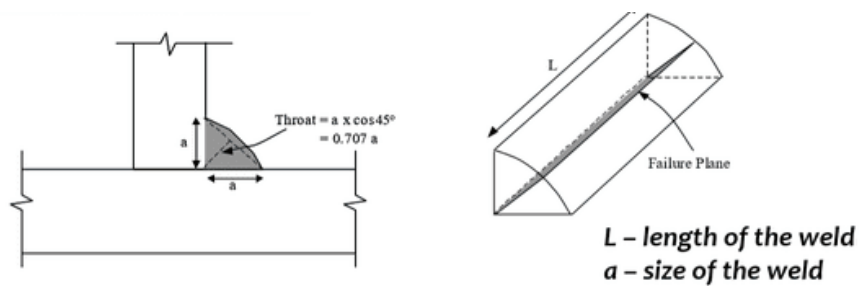
Sambungan las merupakan sambungan Baja yang akan disambungkan dengan cara dipanaskan pada ujung-ujung bagian baja yang akan disambung

sampai mencapai titik lelehnya, baja yang telah cair akan menyatu membentuk joint las.

Kondisi batas pada kekuatan sambungan las adalah kondisi fracture (patah). Kondisi leleh bukan faktor yang menentukan karena deformasi yang terjadi pada sambungan las saat leleh tidak terjadi dan tidak mempengaruhi performance struktur.

2.9.1.1 Perencanaan Sambungan Las

1. Las sudut sering digunakan dan dipakai pada semua struktur.
2. Tebal las biasanya berukuran 1 mm dan kelipatannya.
3. Las sudut dapat dibebani pada berbagai arah geser, tekan atau tarik. Oleh karena itu las tersebut selalu gagal pada geser
4. Kegagalan geser pada las sudut terjadi sepanjang bidang kritis las yang dilalui.



Gambar 2.41 Perencanaan Sambungan Las

Tegangan geser dari las sudut sepanjang L yang menerima beban sebesar P adalah sebagai berikut :

$$fv = \frac{P}{0,707 a Lw} \dots\dots\dots (2.148)$$

Adapun kapasitas geser las yang dinotasikan sebagai Rn adalah sebagai berikut:

$$Rn = Fw \times 0,707 \times a \times Lw \dots\dots\dots (2.149)$$

$$\Phi Rn = 0,75 \times Fw \times 0,707 \times a \times Lw \dots\dots\dots (2.150)$$

$$\Phi = 0,75$$

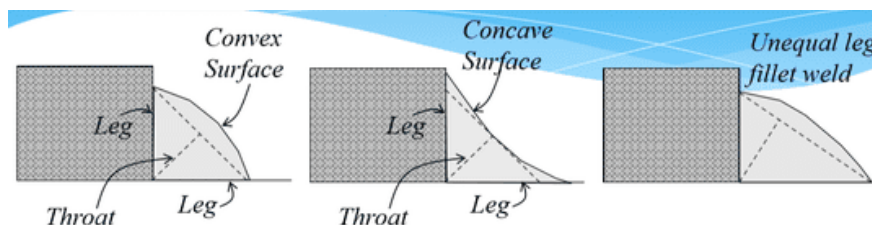
Dimana f_w = teg.geser ultimit elektroda = 0,6 x kuat tarik elektroda las

(tergantung pada elektrode yang digunakan pada proses SMAW)

- Kuat tarik dari elektroda las antara lain ; 413, 482, 551, 620, 688, 758, atau 827 MPa.
- Terminologi standar elektrode las yang dipakai adalah E60XX, E70XX, E80XX, dan seterusnya.
- E – elektrode 70 – tensile strength of electrode (ksi) = 482 MPa
- XX – type of coating
- Kekuatan dari elektroda diperhitungkan dari base metal dipakai. • Jika teg.leleh (σ_y) base metal \square 413 - 448 MPa, dipakai elektroda E70XX. • Jika teg.leleh (σ_y) base metal \square 413 - 448 MPa, dipakai elektroda E80XX.
- E70XX adalah elektroda yang paling banyak digunakan untuk las sudut yang dibuat dengan proses SMA

2.9.1.2 Las Sudut

Lebih kuat menahan tarik atau tekan dibandingkan menahan geser.



Gambar 2.42 Detail Gambar Sudut Las

$$\text{Teg. geser sudut} = \frac{\text{Beban}}{\text{Luas Bidang Patahan}}$$

Kondisi batas las sudut ditentukan oleh :

1. Patahan geser pada lintasan kritis atau kuat geser las

$$\Phi vn = \Phi fw \times te \times Lw \dots\dots\dots (2.151)$$

Untuk kaki sudut yang sama (equal)

$$\Phi vn = \Phi fw \times 0,707 a \times Lw \dots\dots\dots (2.152)$$

2. Kemampuan geser base metal atau pelat :

$$\Phi Rn = 0,9 \times 0,6 \times Fy \times \text{Luas base metal yang menerima geser}$$

dimana Fy = Teg.leleh pada base metal.

2.9.2 Sambungan Baut

2.9.2.1 Sambungan Baut Tipe Geser

Konfigurasi sambungan baut tipe geser dan cara pemasangan baut mutu tinggi, ternyata saling terkait dan mempengaruhi kekuatan dan kekakuan sambungan itu sendiri. Keterkaitannya menghasilkan dua mekanisme pengalihan gaya-gaya yang berbeda, yaitu mekanisme slip-kritis dan tumpu. Sambungan baut dengan mekanisme slip-kritis atau tumpu, tidak bisa dibedakan dari tampilan fisikNya saja. Mekanisme tersebut hanya akan terlihat setelah diberikan pembebanan. Jika pada beban rencana, baut tidak mengalami slip (tetap ditempat), maka saat itu mekanisme slip-kritis sedang bekerja. Kekuatannya tergantung dari besarnya tahanan friksi yang terjadi. Sebaliknya, jika pada saat dibebani, baut mengalami slip, maka mekanisme tumpu telah bekerja.

A. Sambungan Slip-Kritis

Sambungan slip-kritis adalah sambungan yang direncanakan tidak mengalami slip. Sistem itu diperlukan untuk mengatasi terjadinya beban bolak-

balik (misal tarik jadi desak atau sebaliknya), yang umumnya ada pada jembatan. Jika itu berlangsung terus-menerus, pada waktu lama maka struktur akan berisiko tinggi mengalami kerusakan fatig, yaitu keruntuhan pada kondisi tegangan elastis. Tentu saja tidak semua sambungan harus mempunyai ketahanan seperti itu. Bangunan gedung misalnya, sambungannya cukup direncanakan terhadap mekanisme tumpu saja, agar jumlah baut yang diperlukan lebih sedikit, yang berarti lebih ekonomis.

Sambungan baut mutu tinggi tipe geser dengan mekanisme slip-kritis atau disebut sambungan slip-kritis dipilih untuk konstruksi yang didominasi beban dinamik atau beban bolak-balik berganti tanda, yang umum terjadi pada jembatan atau pada mesin industri. Tahanan slip-kritis nominal (R_n) untuk baut mutu tinggi adalah sebagai berikut :

$$R_n = \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \dots\dots\dots (2.153)$$

Dimana:

μ = Koefisien slip rata-rata, tergantung kondisi permukaan. Pekerjaan persiapan mutu kelas-A adalah $\mu = 0,3$ dan untuk mutu kelas-B (lebih ketat) adalah $\mu = 0,5$.

$D_u = 1,13$, adalah faktor pengali yang mempresentasikan gaya prategang baut rata-rata terpasang dengan gaya tarik baut prategang minimum.

h_f = Faktor terkait adanya pelat pengisi (filler), jika tidak ada filler atau hanya 1 filler maka $h_f = 1$, jika ada 2 filler diantara pelat sambung maka $h_f = 0,85$.

T_b = Gaya tarik baut prategang minimum.

n_s = Jumlah permukaan yang menimbulkan bidang kontak.

Kuat batas slip-kritis,

$R_u = \phi R_n$, dimana nilai ϕ tergantung bentuk dan ukuran lubang bautnya. Jika lubang standar atau lubang slot pendek yang dipasang tegak lurus arah beban, $\phi = 1,0$. Untuk lubang oversize dan slot pendek tetapi dipasang sejajar arah beban maka $\phi = 0,85$. Jika lubangnya adalah slot-panjang maka $\phi = 0,70$.

$$\frac{M_u}{\phi \cdot M_n} \leq 1 \dots\dots\dots (2.154)$$

B. Mekanisme Tumpu Baut

Mekanisme tumpu hanya terjadi jika mekanisme slip-kritis gagal, biasanya ditandai dengan terjadinya slip. Istilah gagal ini tidak berarti bahwa kondisinya telah runtuh, tetapi karena ketahanan friksiya tidak lagi bekerja. Adapun sambungan tipe geser dengan mekanisme tumpu adalah didasarkan pada kondisi bagaimana memanfaatkan material secara maksimal, yaitu sampai kondisi inelastis (F_y dan F_u). Mekanisme ini menghasilkan kapasitas yang lebih besar, sehingga jumlah baut yang diperlukan relatif lebih sedikit dibanding jika memakai mekanisme slipkritis.

1) Kuat tumpu baut

Kuat tumpu pelat sambungan memperhitungkan pengaruh deformasi. Jika besarnya itu akan mempengaruhi fungsi dari struktur sehingga kekuatannya perlu dibatasi, maka dapat dipakai rumusan berikut dengan mengambil nilai yang terkecil, yaitu :

$$R_n = 1,2 \cdot I_c \cdot t \cdot F_u \leq 2,4 \cdot d \cdot t \cdot F_u \dots\dots\dots (2.155)$$

Selanjutnya jika terjadi deformasi pada sambungan dianggap tidak mempengaruhi fungsi maka kuat tumpu dapat ditingkatkan yaitu nilai terkecil persamaan berikut.

$$R_n = 1,5 \cdot I_c \cdot t \cdot F_u \leq 3,0 \cdot d \cdot t \cdot F_u \dots\dots\dots (2.156)$$

Dimana:

I_c = Jarak bersih (mm) searah gaya, dihitung dari tepi lubang ke tepi pelat terluar (untuk baut pinggir) atau jarak bersih antar tepi lubang (untuk baut dalam).

F_u = Kuat tarik minimum baja pelat yang ditinjau (MPa).

Untuk kuat tumpu dengan lubang baut tipe slot panjang yang arah slotnya tegak lurus terhadap arah gaya, maka kekuatannya berkurang dan dapat dihitung sebagai berikut ini :

$$R_n = 1,0 \cdot I_c \cdot t \cdot F_u \leq 2,0 \cdot d \cdot t \cdot F_u \dots\dots\dots (2.157)$$

2) Kuat geser baut

Jika pelat mengalami fenomena tumpu dan geser, maka pada baut juga demikian. Tetapi karena ukuran baut sudah ditentukan, maka kerusakan akan terjadi lebih dahulu adalah geser. Oleh sebab itu dalam perencanaan yang dievaluasi hanya kuat geser saja, yang relatif lebih lemah dibandingkan kuat tumpunya. Rumus kuat geser baut per 1 bidang geser adalah.

$$R_n = F_m \cdot A_b \dots\dots\dots (2.158)$$

Dimana:

F_m = Tegangan geser nominal baut

A_b = Luas penampang baut, bagian berulir atau polos, tergantung tegangan geser nominal yang dipakai.

3) Kuat blok pelat

Perhitungan kekuatan sambungan tipe geser dengan mekanisme tumpu didasarkan pada sambungan kekuatan individu masing-masing baut sambungan dengan jumlah baut yang relatif kecil. Tetapi untuk sambungan dengan jumlah baut yang relatif banyak, dengan penempatan yang berkelompok, dapat menyebabkan keruntuhan blok dalam satu kesatuan. Rumus kuat blok geser pelat adalah

$$R_n = 0,6 F_u \cdot A_m + U_{bz} \cdot F_u \cdot A_{st} \leq 0,6 F_y \cdot A_{gv} + U_{bc} \cdot F_u \cdot A_{nt} \dots\dots\dots (2.159)$$

Dimana:

F_u = Kuat tarik minimum pelat sambungan (MPa)

F_y = Kuat leleh minimum pelat sambungan (MPa)

A_{nv} = Luas netto (dengan lubang) potongan mengalami gaya geser, yaitu garis batas blok searah gaya (mm^2)

A_{gv} = Luas utuh (tanpa lubang) potongan mengalami gaya geser, yaitu garis batas blok searah gaya (mm^2)

A_{nt} = Luas netto (dengan lubang) potongan mengalami gaya geser, yaitu garis batas blok tegak lurus gaya (mm^2)

U_{bc} = Untuk tegangan tarik merata (uniform) $U_{bs} = 1,0$, dan yang tidak merata (gradien) $U_{bs} = 0,5$. Ini biasa dijumpai misalnya pada sambungan ujung dari balok dengan penempatan kolom baut secara ganda

4) Kekuatan sambungan

Untuk mendapatkan kuat nominal sambungan, semua mekanisme keruntuhan yang teridentifikasi harus ditinjau, yaitu :

- kuat tumpu (geser) pelat, yang merupakan jumlah kumulatif tahanan tumpu pada masing-masing baut yang mengalami kontak dengan pelat;
- kuat geser baut, tergantung dari jumlah bidang geser per baut, jumlah baut pada sambungan dan kuat geser nominal baut;
- 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 sambungannya adalah $R_u = \phi R_n$, dengan faktor tahanan $\phi = 0,75$ untuk keseluruhan mekanisme keruntuhan yang ditinjau. Hal itu menunjukkan bahwa keruntuhan yang terjadi melibatkan keruntuhan fraktur yang relatif kurang daktail dibanding keruntuhan leleh.

2.9.2.2 Kuat Slip

Kuat slip adalah sambungan yang direncanakan tidak mengalami slip. System ini diperlukan untuk mengatasi beban bolak-balik yang jika terus menerus terjadi akan struktur akan mengalami keruntuhan pada kondisi tegangan elastis.

Tabel 2.15 Gaya Tarik Baut Minimum

Diameter Nominal Baut (mm)	Gaya Tarik Minimum (kN)
16	95
20	145
24	210
30	335
36	490

$$\phi V_n = \mu \cdot 1,13 \cdot \phi \cdot m \cdot T_b \dots\dots\dots (2.160)$$

Dimana :

μ = koefisien gesek yang ditentukan (bersih 0,35 ; dilgavanis 0,16 – 0,26 ; dicat 0,07 – 0,10 ; berkarat bersih 0,45 – 0,70 ; sand-blasted 0,40 – 0,70) 78

m = jumlah bidang geser

T_b = gaya tarik baut minimum pada pemasangan seperti yang disyaratkan pada

2.9.2.3 Sambungan *Base-Plate*

Struktur baja pada umumnya untuk bangunan di bagian atas, sedangkan dibagian bawah khususnya pada pondasi mengandalkan struktur beton. Untuk menghubungkan keduanya perlu sambungan, yaitu base-plate. Pada prinsipnya pelat landasan (base-plate) dibuat untuk transfer gaya atau momen dari struktur baja yang relatif lebih kuat ke struktur beton yang lebih lemah tanpa menimbulkan kerusakan.

Base plate yang biasa, umumnya terdiri dari pelat landasan dan baut angkur. Adapun pelat landasan tersambung ke kolom baja dengan las. Secara teoritis, bisa saja baut angkur tidak diperlukan, tetapi dalam pelaksanaan harus dipasang. Minimal dua buah, untuk mengantisipasi momen tidak terduga yang terjadi selama masa konstruksi.

A. Kuat tumpu beton

Kuat tumpu rencana yaitu $\phi_c P_p$, dengan $\phi = 0,65$. Adapun kuat tumpu nominal P_p tergantung dari luasan beton tumpuan yang tersedia, sebagai berikut.

Luas beton \cong luas pelat landasan, maka:

$$P_p = 0,85 \cdot f_c' \cdot A_t \dots\dots\dots (2.161)$$

Atau dalam format tegangan tumpu nominal maka

$$f_{p(maks)} = \phi_c \cdot 0,85 \cdot f_c'$$

Luas beton tumpuan > luas pelat landasan yang besarnya merata pada semua sisi.

Untuk itu kuat tumpu beton dapat ditingkatkan maksimum sampai dua kalinya:

$$P_p = 0,85 \cdot f_c' \cdot A_t \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1,7 \cdot f_c' \cdot A_1 \dots\dots\dots (2.162)$$

$$F_{p(maks)} = \phi_c \cdot 0,85 \cdot f_c' \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1,7 \cdot f_c' \dots\dots\dots (2.163)$$

Dimana:

f_c' = Kuat tekan beton yang diisyaratkan, Mpa

A_1 = Luas beton yang dibebani gaya konsentris, mm²

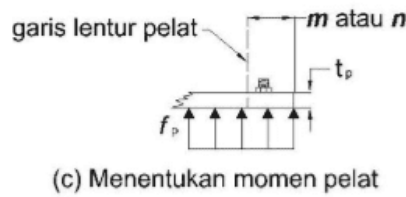
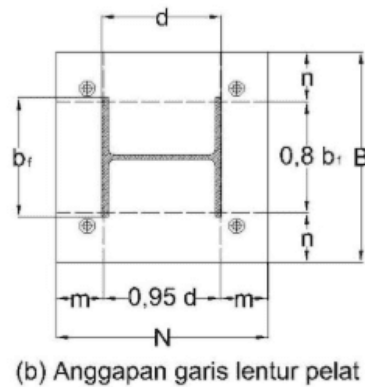
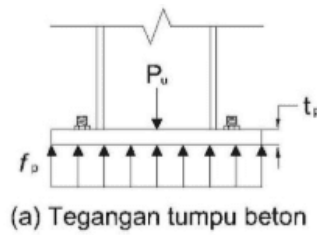
A_2 = Luas bawah piramida terpancung yang luas atas adalah A_1 , dimana sisi miringnya mempunyai rasio horizontal : vertikal adalah 2 : 1 , mm²

Jika luas beton tumpuan lebih besar dari luas pelat landasan secara merata, maka bagian beton tumpuan yang lebih besar dapat berfungsi sebagai struktur pengekang untuk bagian beton yang dibebani. Itulah mengapa kuat tumpunya bisa ditingkatkan lagi.

B. Tekan konsentris

Jika base-plate bertumpu pada permukaan beton pondasi, maka dimensi pelat landasan ($B \times N$) harus dipilih agar beton dibawahnya tidak rusak, dengan memenuhi ketentuan berikut :

$$f_p = \frac{P_u}{BN} \leq f_{p(maks)}$$



Gambar 2.43 Base-plate terhadap beban tekan konsentris

Kuat perlu pada pelat landasan dapat ditentukan berikut.

$$M_{pl} = \frac{1}{2} f_p \cdot l^2 \dots\dots\dots (2.164)$$

Dimana l adalah nilai terbesar dari m , n , dan $\lambda n'$

$$m = \frac{N - 0,95 d}{2} \dots\dots\dots (2.165)$$

$$n = \frac{B - 0,8 b_f}{2} \dots\dots\dots (2.166)$$

$$\lambda n' = \frac{1}{4} \lambda \sqrt{d b_f} \dots\dots\dots (2.167)$$

$$A = \frac{2 \sqrt{x}}{1 + \sqrt{1-x}} \leq 1 \dots\dots\dots (2.168)$$

$$X = \left\{ \frac{4 d b_f}{(d + b_f)^2} \right\} \frac{P_u}{\phi c p_p} \dots\dots\dots (2.169)$$

Cukup konservatif jika diambil $\lambda = 1$.

Untuk kondisi batas leleh, tebal minimum pelat landasan adalah

Dimana:

ϕ = Faktor ketahanan terhadap lentur, $\phi = 0,9$

l = Nilai maksimum dari m , n , dan $\lambda n'$, agar tebal pelat landasannya ekonomis
maka parameter tersebut dibuat minimum, salah satunya adalah menetapkan
 $m=n$

C. Tegangan beton segitiga – elastis

a) Momen kecil tanpa angkur

Pendekatan tegangan tumpu beton pada kondisi elastis (segitiga) sengaja dipilih karena memberi gambaran cukup rasional tentang efek eksentrisitas (e) akibat gaya tekan P_u terhadap base-plate. Nilai e disebut sedang jika tidak perlu baut angkur untuk keseimbangannya. Untuk formulasinya akan dibagi menjadi dua kondisi, yaitu :

- Kecil, jika $e = \frac{M_u}{P_u} \leq \frac{N}{6}$
- Menengah, jika $\frac{N}{6} \leq e \leq \frac{N}{2}$

b) Momen besar dengan angkur

Bila eksentrisitas gaya P_u besar, maka base-plate dapat terguling. Untuk menghindarinya harus dipasang baut angkur untuk menahan gaya tarik sebesar T_u akibat momen guling tersebut. Ukuran pelat landasan dipilih sedemikian sehingga tegangan tekan beton, f_p tidak melebihi tegangan tumpu nominal beton. Untuk

mencari nilai T_u dan A , dipergunakan persamaan keseimbangan vertikal dan momen sebagai berikut :

$$T_u + P_u = \frac{1}{2} f_p \cdot AB \dots\dots\dots (2.170)$$

$$P_u \left(\frac{N}{2} - x \right) + M_u = \frac{1}{2} f_p AB \left(N - x - \frac{A}{3} \right) \dots\dots\dots (2.171)$$

Jika $A' = \frac{N}{2} - x$ dan $f' = f_n B \frac{N-x}{2}$, dari persamaan di atas diperoleh:

$$A = \frac{f' \pm \sqrt{f'^2 - \frac{2}{8} f_p B (P_u A' + M_u)}}{\frac{1}{8} f_p B} \dots\dots\dots (2.172)$$

Nilai $A \leq N'$, jika tidak memenuhi maka ukuran pelat landas tidak mencukupi, perlu ukuran lain. Gaya tarik baut angkur adalah :

$$T_u = \frac{1}{2} f_p AB - P_u \dots\dots\dots (2.173)$$

D. Tegangan beton persegi – ultimate

a) Momen kecil tanpa angkur

Perencanaan base-plate dengan beban eksentris sebelumnya adalah didasarkan pada asumsi distribusi tegangan beton berbentuk segitiga atau kondisi tegangan elastis. Jika beban bertambah terus sampai kondisi batas, perilaku elastis terlewati dan beton masuk pada kondisi batas (ultimate).

$$q_{maks} = f_{p(maks)} \cdot x \cdot B \dots\dots\dots (2.174)$$

$$y_{min} = \frac{P_u}{q_{maks}} \dots\dots\dots (2.175)$$

Jika \mathcal{E} jarak resultan tumpu beton terhadap pusat berat kolom:

$$\mathcal{E}_{maks} = \frac{N}{2} - \frac{y_{min}}{2} = \frac{N}{2} - \frac{P_u}{2 q_{maks}} \dots\dots\dots (2.176)$$

$$e_{kritis} = \mathcal{E}_{maks} = \frac{N}{2} - \frac{P_u}{2 q_{maks}} \dots\dots\dots (2.177)$$

Eksentrisitas beban $\leq e_{kritis}$ maka baut angkur tidak diperlukan.

b) Momen besar dengan angkur

Jika eksentrisitas beban tekan $e = M_u/P_u > e_{kritis}$ maka baut angkur diperlukan untuk mencegah base plate mengalami guling. Untuk mencari nilai T_u dan Y , dipergunakan persamaan keseimbangan gaya vertikal sebagai berikut.

$$T_u + P_u = qY \dots\dots\dots (2.178)$$

Setelah pengaturan diperoleh persamaan kuadrat berikut.

$$Q_{maks} Y \left(\frac{N}{2} - \frac{Y}{2} + f \right) - P_u (e + f) = 0 \dots\dots\dots (2.179)$$

Setelah pengaturan diperoleh persamaan kuadrat berikut.

$$Y^2 - 2 \left(\frac{N}{2} + f \right) Y + \frac{2 P_u (e+f)}{q_{maks}} = 0 \dots\dots\dots (2.180)$$

Dan penyelesaian untuk Y adalah

$$Y = \left(\frac{N}{2} + f \right) \pm \sqrt{\left(\frac{N}{2} + f \right)^2 - \frac{2 P_u (e+f)}{q_{maks}}} \dots\dots\dots (2.181)$$

Pada suatu kombinasi gaya, momen dan ukuran base plate tidak diperoleh penyelesaian, sehingga dimensi base plate perlu diperbesar. Agar persamaan bisa diselesaikan maka:

$$\left(\frac{N}{2} + f \right)^2 \geq \frac{2 P_u (e+f)}{q_{maks}} \dots\dots\dots (2.182)$$

Gaya pada angkur adalah

$$T_u = qY \cdot P_u \dots\dots\dots (2.183)$$

Untuk kondisi batas leleh, tebal minimum pelat landasan adalah

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4 M_{pl}}{\phi F_y}} \dots\dots\dots (2.184)$$

Pada sisi desak : momen terjadi akibat tegangan reaksi beton pada kantilever m dari tumpuannya. Jika $Y \geq m$ maka:

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4 M_{pl}}{\phi F_y}} = \sqrt{\frac{4 \left(\frac{1}{2} f_p m^2\right)}{0,9 F_y}} = 1,5 m \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} \dots\dots\dots (2.185)$$

Untuk $Y < m$, maka:

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4 M_{pl}}{\phi F_y}} = \sqrt{\frac{4 \left(f_p Y \left(m - \frac{Y}{2}\right)\right)}{0,9 F_y}} = 2,11 \sqrt{\frac{f_p Y \left(m - \frac{Y}{2}\right)}{F_y}} \dots\dots\dots (2.186)$$

dimana:

$$f_p = \frac{P_u}{BY} 2 \dots\dots\dots (2.187)$$

Pada sisi tarik : momen terjadi akibat reaksi baut angkur yang bekerja seperti beban terpusat di pelat. Oleh sebab itu jumlah baut juga berpengaruh, khususnya terhadap lebar efektif pelat.

Tebal pelat landasan minimum untuk memikul baut angkur adalah.

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4 M_{pl}}{\phi F_y}} = \sqrt{\frac{4 \left(\frac{T_u}{n_b} \cdot \frac{a}{2}\right)}{0,9 F_y}} = 1,5 \sqrt{\frac{T_u}{n_b \cdot F_y}} \dots\dots\dots (2.188)$$

Dimana:

n_b = jumlah baut angkur yang dipasang