

2 LANDASAN TEORI

2.1 Beton Prategang

Beton memiliki kekuatan tekan yang tinggi, tetapi lemah dalam kekuatan tariknya. Sementara baja memiliki kekuatan tarik yang tinggi, tetapi lemah terhadap kuat tekan. Oleh karena itu, jika kedua bahan tersebut dikombinasikan akan menghasilkan elemen yang kuat, baik dalam tekanan maupun tarikan (Taufiq 2017). Persis pada beton pratekan terjadi kombinasi aktif antara beton dan baja. Konsep dalam beton pratekan yaitu baja ditarik dengan tegangan tertentu dan kemudian dilepaskan. Hal ini menciptakan kondisi tekan pada beton yang menjadi beban internal untuk mengimbangi beban eksternal yang terjadi.

Perbedaan mendasar antara beton prategang dan beton bertulang konvensional adalah pada perilaku struktur dan materialnya. Beton konvensional bermaterial beton dan besi tulangan dengan perilaku struktur tidak mendapatkan beban internal pada saat pelaksanaan. Sedangkan beton prategang bermaterial beton bermutu tinggi yang dikombinasikan dengan besi tulangan dan tendon dengan perilaku struktur mendapatkan beban internal saat pelaksanaan. Modulus elastisitas untuk beton prategang sesuai SNI 2874-2002 ditulis sebagai berikut,

$$E_c = (W_c)^{1,5} \times 0,043\sqrt{f_c'} \quad (2.1)$$

Untuk beton bertulang konvensional diambil:

$$E_c = 4700\sqrt{f_c'} \quad (2.2)$$

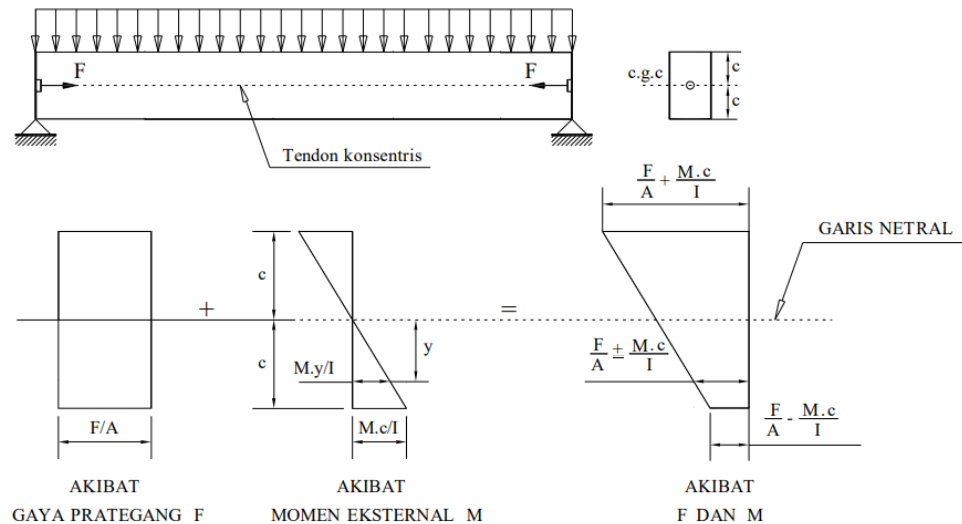
Keterangan : W_c = Berat volume beton (kg/m^3)

2.1.1 Konsep Dasar Beton Prategang

Konsep beton prategang dalam pelaksanaannya terdapat 3 (tiga) konsep yang mendasarinya (Setiawan 2013) yaitu:

1. Sistem beton prategang dapat mengubah beton yang sifatnya getas menjadi bahan yang elastis. Beton bermutu tinggi yang diberikan tekanan tinggi pada

baja pategang, beton akan memikul beban internal. Sehingga secara perilaku strukturnya akan memberikan momen ke atas sebagai penyeimbang beban eksternal. Berikut adalah gambar penjelasannya yang diambil dari buku ajar perancangan beton prategang :



Gambar 2.1 Konsep Dasar Beton Prategang

Sesuai gambar di atas dapat disimpulkan bahwa akibat gaya F yang bekerja pada seluruhnya penampang beton akan mengakibatkan gaya yang merata dengan F/A . Di mana A merupakan penampang dari beton yang dimaksud. Maka tegangan lentur akan terjadi akibat beban merata (termasuk berat sendirinya) yang mengakibatkan tagangan tarik di bawah garis netral dan tegangan tekan di atas garis netral dengan rumus sebagai berikut :

Tegangan lentur :

$$f = \frac{M \cdot c}{I} \quad (2.3)$$

Keterangan :

M = Momen lentur penampang tinjauan

e = Jarak garis netral ke serat terluar penampang

I = Momen inersia penampang

Jika tegangan prategang dan tegangan lentur dijumlahkan maka tegangan maksimum akan terjadi sebagai berikut :

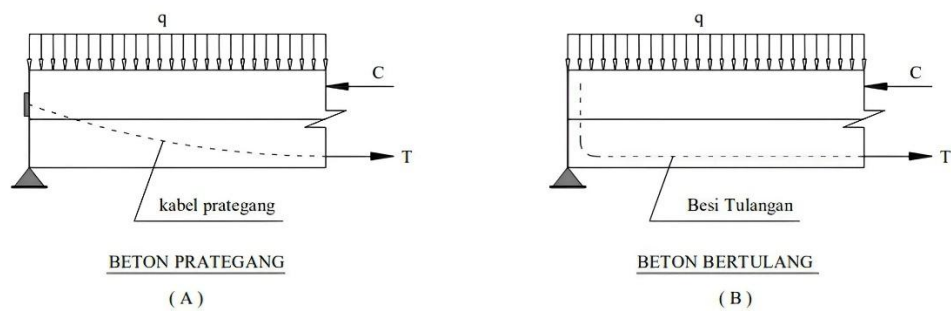
Di atas garis netral :

$$f_{\text{Total}} = \frac{F}{A} + \frac{M \cdot c}{I} \quad (2.4)$$

Di bawah garis netral :

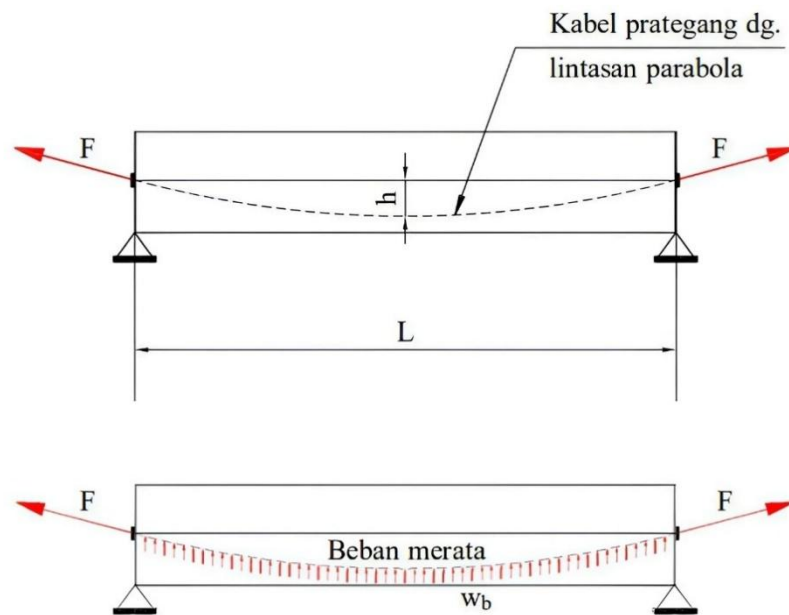
$$f_{\text{Total}} = \frac{F}{A} - \frac{M \cdot c}{I} \geq 0 \quad (2.5)$$

2. Sistem beton prategang mengkombinasikan beton dan baja yang bermutu tinggi. Konsep prategang hampir sama layaknya beton bertulang konvensional, yaitu sama-sama memiliki kerjasama antara beton dan tulangan atau tendon pada prategang. Berikut adalah gambar penjelasannya yang diambil dari buku ajar perencanaan beton prategang.



Gambar 2.2 Sistem Kerja Beton Prategang

3. Keseimbangan beban harus tercapai oleh sistem prategang. Penerapan prategang digunakan sebagai metode untuk menciptakan keseimbangan pada balok, Hal ini membuat elemen struktur horizontal yang mengalami lendutan tidak akan mengalami tegangan lentur ketika beban beroperasi. Berikut adalah gambar penjelasannya yang diambil dari buku ajar beton prategang.



Gambar 2.3 Gaya yang Bekerja Pada Beton Prategang

Akibat gaya F yang ditarik ke arah luar, maka akan timbul beban merata ke arah atas yang dinyatakan sebagai berikut :

$$W_b = \frac{8 \cdot F \cdot h}{L^2} \quad (2.6)$$

Keterangan ;

W_b = Beban merata ke arah atas

F = Gaya prategang

h = Tinggi parabola lintasan kabel

L = Bentang balok

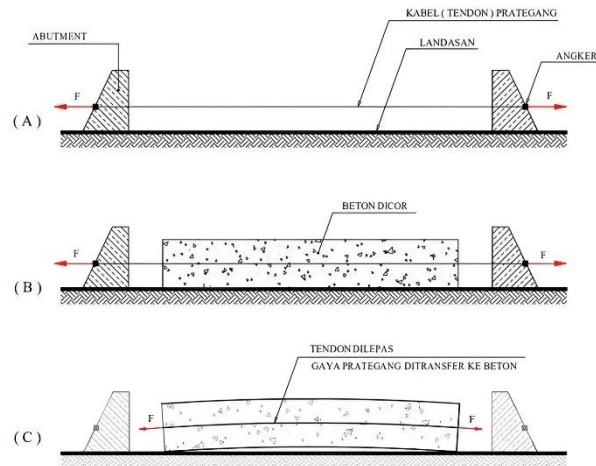
2.1.2 Metode Pemberian Gaya Prategang

Metode pemberian gaya prategang terbagi menjadi 2 (dua) metode yang dipakai di lapangan yaitu sebagai berikut:

2.1.2.1 Pra-Tarik (*Pre-Tensioning Method*)

Pretension adalah suatu metode prategang di mana gaya tarik diberikan pada material sebelum material tersebut ditempatkan dalam struktur. Misalnya, dalam beton prategang, kawat atau kabel baja disusun dengan tegangan tertentu sebelum

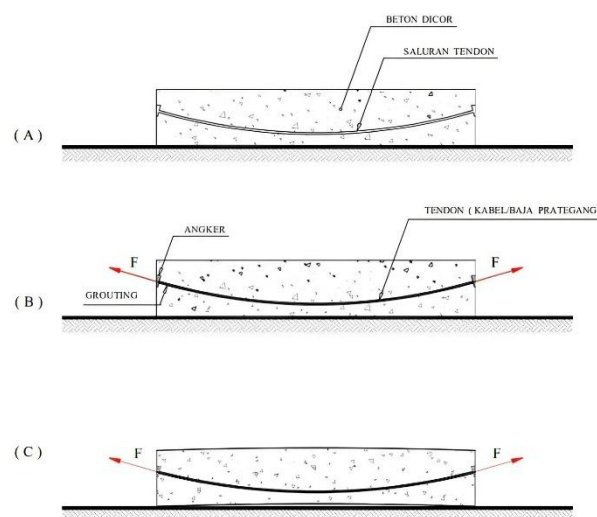
beton dicor dan mengeras. Hasilnya, setelah beton mengeras, gaya tarik tersebut akan mengompresikan pada beton, untuk meningkatkan daya dukung dan ketahanan strukturalnya. Adapun ilustrasi penjelasan di atas diambil dari buku ajar perancangan struktur beton prategang sebagai berikut :



Gambar 2.4 Sistem Beton Prategang Pra-Tarik

2.1.2.2 Pasca Tarik (*Post-Tensioning Method*)

Metode pasca tarik merupakan metode dimana beton dicor terlebih dahulu dengan selongsongan untuk jalur tendon yang sudah disiapkan di dalamnya. Kemudian tendon akan ditarik setelah beton dipasang di lapangan. Berikut adalah ilustrasi pasca tarik yang diambil dari buku ajar struktur beton prategang.

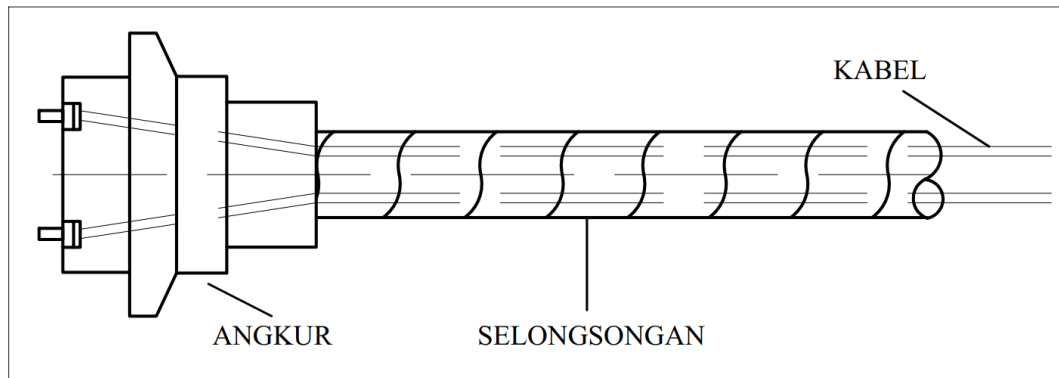


Gambar 2.5 Sistem Beton Prategang Pasca Tarik

2.2 Tendon

2.2.1 Spesifikasi Tendon

Menurut SNI 7833:2012 Nomor 3.3.72 Tendon Merupakan elemen prategang yang tersusun dari angkur, baja prategang dan selongsong dengan metode baja prategang yang melekat pada beton maupun tidak dilekatkan (Badan Standardisasi Nasional 2012). Berikut adalah ilustrasi tendon pada beton prategang.



Gambar 2.6 Detail *Anchor* Kabel Prategang

Baja prategang atau tendon terdapat tiga macam yang umum di gunakan di lapangan yaitu;

1. Kawat tunggal (*wire*)

Kawat tunggal ini merupakan elemen tendon yang biasanya digunakan pada beton prategang dengan sistem pra-tarik (*pre-tension method*).

2. Kawat beruntai (*strand*)

Kawat beruntai termasuk elemen tendon yang biasanya digunakan pada beton prategang dengan sistem pasca tarik (*pos-tension method*).

3. Kawat batangan (*bar*)

Kawat batangan biasanya diaplikasikan pada beton prategang dengan sistem pra-tarik (*pre-tension method*).

Adapun untuk karakteristik dari masing-masing jenis kawat di atas adalah sebagai berikut. Tabel diambil dari Buku Perancangan Struktur Beton Prategang:

Tabel 2.1 Karakteristik Jenis Kawat

Jenis Baja Prategang	Diameter (mm)	Luas (mm ²)	Beban Putus (KN)	Beban Tarik (MPa)
Kawat Tunggal (wire)	3	7,1	13,5	1900
	4	12,6	22,1	1750
	5	19,6	31,4	1600
	7	38,5	57,8	1500
	8	50,3	70,4	1400
Untaian Kawat (Strand)	9,3	54,7	102	1860
	12,7	100	184	1840
	15,2	143	250	1750
Kawat Batangan (bar)	23	415	450	1080
	26	530	570	1080
	29	660	710	1080
	32	804	870	1080
	38	1140	1230	1080

Jenis tendon yang sering digunakan pada metode pre-tension adalah *seven wire strand* dan *single wire*. Perbedaannya yaitu, untuk *seven wire strand* pada satu bendel kawat terdiri dari 7 buah kawat sedangkan untuk *single wire* hanya terdiri dari kawat tunggal. Beton prategang yang menggunakan metode post-tension sering digunakan tendon *monostrand*, batang tunggal, *multi-wire* dan *multi-strand*. Berikut adalah tabel mengenai spesifikasi dari jenis strand di atas, tabel ini diambil dari buku ajar perancangan struktur beton prategang.

Tabel 2.2 Spesifikasi Jenis Strand

Tendon Type	Grade fpu MPa	Size Designation	Nominal Dimention		Mass (kg/m)
			Diameter (mm)	Area (mm ²)	
Seven - Wire Strand	1860	9	9,53	55	0,432
	1860	11	11,13	74	0,582

<i>Tendon Type</i>	Grade f_{pu} MPa	Size <i>Designation</i>	<i>Nominal Dimention</i>		Mass (kg/m)
			Diameter (mm)	Area (mm ²)	
	1860	13	12,70	99	0,775
	1860	15	15,24	140	1,109
	1760	16	15,47	148	1,173
<i>Prestressing Wire</i>	1550	5	5,00	19,6	0,154
	1720	5	5,00	19,6	0,154
	1620	7	7,00	38,5	0,302
	1760	7	7,00	38,5	0,302
<i>Deformed Prestressing Bar</i>	1080	15	15,0	177	1,44
	1030	26	26,5	551	4,48
	1100	26	26,5	551	4,48
	1030	32	32,0	804	6,53
	1100	32	32,0	804	6,53
	1030	36	36,0	1080	8,27

Kabel pratekan yang berupa *strand* atau untai kawat secara umum dipakai yaitu tipe ASTM A 416 “ *Uncoated seven wire stress relieved strand* “ yang terdiri dari dua macam *grade* yaitu:

Grade – 250 : Tegangan tarik minimum (f_{pu}) = 250.000 Psi (17.250 kg/cm²)

Grade – 270 : Tegangan tarik minimum (f_{pu}) = 270.000 Psi (18.600 kg/cm²)

Tabel 2.3 Spesifikasi Grade Kabel Prategang

Grade	Diameter Nominal		Luas Penampang Nominal		Tegangan Tarik Batas f_{pu}	
	in	mm	In ²	mm ²	ksi	MPa
250	0.250	6.35	0.036	23.22	250	1,725
	0.313	7.94	0.058	37,42	250	1,725
	0.375	9.53	0,080	51,61	250	1,725
	0.438	11.11	0,108	69,68	250	1,725

Grade	Diameter Nominal		Luas Penampang Nominal		Tegangan Tarik Batas f_{pu}	
	in	mm	In ²	mm ²	ksi	MPa
270	0.500	12.54	0,144	92,90	250	1,725
	0.600	15.24	0,216	139,35	250	1,725
	0,375	9,53	0,085	54,85	270	1,860
	0,438	11,11	0,115	74,19	270	1,860
	0,500	12,54	0,153	98,71	270	1,860
	0,563	14,29	0,192	123,87	270	1,860
	0,600	15,24	0,216	139,35	270	1,860

2.2.2 Penentuan Jumlah *Strand*

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 18.5.1 mengenai penentuan kabel *strand* pada tendon prategang dengan tagangan izin akibat gaya pengangkuran diambil nilai paling kecil dari $0,90f_{py}$, $0,80f_{pu}$, dan $0,70f_{pu}$ (Badan and Nasional 2019). Dimana nilai f_{py} dan f_{pu} dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$f_{pu} = \frac{\text{Braking load minimum}}{A_s} \quad (2.7)$$

Dengan nilai f_{py} diambil dari $0,90 f_{pu}$ untuk faktor keamanan maka,

$$f_{py} = 0,90 f_{pu} \quad (2.8)$$

Jika tegangan izin sudah didapatkan maka selanjutnya adalah mencari luas *strand* yang kita butuhkan dengan persamaan berikut:

$$A_{ps} = \frac{F}{f_{st}} \quad (2.9)$$

Dapat dicari jumlah *strand*,

$$n = \frac{A_{ps}}{A_s} \quad (2.10)$$

Keterangan :

F_{pu} = Kuat tarik baja (MPa)

F_{py} = Kuat leleh baja (MPa)

A_{ps} = Luasan *Strand* tendon prategang (mm^2)

N = Jumlah *Strand*

A_s = Luas nominal kawat (mm^2)

2.2.3 Eksentrisitas Tendon

Beban yang baiasa dipikul oleh beton prategang adalah beban merata yang memiliki diagram momen berbentuk parabola. Sehingga pada kasus ini kabel prategang akan direncanakan menggunakan *layout* parabola.

$$e_{maks} = h - y_b \quad (2.11)$$

Maka untuk menentukan nilai eksentrisitas adalah,

$$e = 4e_{maks} \left[\frac{x}{L} - \left(\frac{x}{L} \right)^2 \right] \quad (2.12)$$

Kemudian gaya eksentrisitas ini akan membuat gaya angkat dari tendon prategang dengan gaya merata ke arah atas yang dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} q_p = R &= p \cdot \sin \theta = p \cdot \sin \frac{de}{dx} \approx p \cdot \frac{de}{dx} \\ q_p &= p \left(-\frac{8e_{maks}}{L^2} \right) = \left(-\frac{8pe_{maks}}{L^2} \right) \end{aligned} \quad (2.13)$$

2.3 Penentuan Gaya Prategang

Gaya prategang dapat berpengaruh terhadap momen total (M_T) yang kemudian disalurkan pada luas penampang (Setiawan, 2013). Sehingga, dalam menentukan gaya prategang dapat menggunakan persamaan (2.14).

$$F = \frac{M_T}{0,65h} \quad (2.15)$$

Kemudian, setelah menentukan gaya prategang perlu dilakukan control tegangan izin. Baik akibat beban mati pada persamaan (2.15) dan (2.16) pelat maupun setelah kehilangan prategang dengan asumsi 20% kehilangan prategang dari gaya prategang awal pada persamaan (2.16) dan (2.17).

$$\sigma_{top} \leq \frac{F_0}{A} - \frac{F_0 \cdot e}{W_t} + \frac{M_{tot}}{W_t} \quad (2.18)$$

$$\sigma_{bott} \geq \frac{F_0}{A} - \frac{F_0 \cdot e}{W_b} + \frac{M_{tot}}{W_b} \quad (2.19)$$

$$\sigma_{top} \geq \frac{F}{A} - \frac{F \cdot e}{W_t} + \frac{M_{tot}}{W_t} \quad (2.20)$$

$$\sigma_{bott} \leq \frac{F_0}{A} + \frac{F_0 \cdot e}{W_b} - \frac{M_{tot}}{W_b} \quad (2.21)$$

2.4 Kehilangan Prategang

Kehilangan gaya prategang merupakan kondisi tendon mengalami pengurangan gaya parategang pada saat tertentu dibandingkan saat penarikan di awal. Kehilangan gaya prategang dikelompokkan menjadi dua macam yaitu :

1. Kehilangan Langsung

Kehilangan prategang secara langsung merupakan kondisi kehilangan setelah gaya prategang diberikan pada tendon. Kehilangan prategang secara langsung terdiri dari; Kehilangan akibat perpendekan elastis, kehilangan akibat *wobble efect* dan gesekan, kehilangan akibat slip angkur, dan kehilangan akibat kekangan kolom.

2. Kehilangan tidak Langsung

Kehilangan gaya prategang yang berangsur pada wanktu yang berbeda merupakan kehilangan gaya prategang secara tidak langsung. Kondisi ini bergantung pada waktu yang cukup lama. Adapun kehilangan prategang secara tidak langsung terdiri dari; Kehilangan prategang akibat relaksasi

baja, kehilangan prategang akibat rangkai, dan kehilangan prategang akibat susut.

Berdasarkan SNI 7833-2012 mengenai perancangan beton prategang untuk bangunan gedung, menyatakan bahwa nilai efektif f_{se} pada baja prategang harus menghitung sumber dari kehilangan prategangnya yaitu terdapat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Sumber Kehilangan Prategang

Kategori	Tipe Kehilangan	Metode Transfer	
		<i>Pre-Tensioning</i>	<i>Post-Tensioning</i>
<i>Immadiate Loss</i>	<i>Elastic Shortening (ES)</i>	Saat Transfer	Saat Transfer Berurutan
	<i>Friction (F)</i>	Sebelum dan Sesudah Transfer	Sesudah Transfer
	<i>Anchorage Setting Loss (A)</i>	Sesudah Transfer	Sesudah Transfer
<i>Time - Dependent Loss</i>	<i>Relaxation of Tendons (R)</i>	Sesudah Transfer	Sesudah Transfer
	<i>Creep of Concrete (CR)</i>	-	Saat Jacking
	<i>Shrinkage of Concrete (SH)</i>	-	Saat Jacking

2.4.1 Kehilangan Prategang Metode Pasca-Tarik

Kehilangan prategang pada metode pasca tarik sangat berbeda dengan kehilangan prategang pada metode pra-tarik. Metode pra-tarik memiliki kehilangan prategang akibat perpendekan elastis beton. Sedangkan pada metode pasca tarik tidak ada kehilangan prategang akibat perpendekan elastis beton. Hal ini dikarenakan gaya prategang diukur setelah perpendekan elastis beton terjadi. Oleh karena itu, kehilangan gaya prategang menggunakan metode pasca tarik ditumuskan sebagai berikut :

$$\Delta f_p = \Delta f'_c = \frac{n \cdot P_i}{A_c} \rightarrow n = \frac{E_{sp}}{E_c} \quad (2.22)$$

Keterangan :

Δf_p = Kehilangan prategang

f'_c = Tegangan pada penampang beton pada level baja prategang

P_i = Gaya prategang awal

A_c = Luas penampang beton

E_s = modulus elastisitas kabel/baja prategang

E_c = Modulus elastisitas beton

Berdasarkan persamaan di atas, maka dapat diperhitungkan kehilangan prategang metode pasca tarik dengan rumus praktis sebagai berikut :

$$\Delta f_p = 0,5 \frac{E_s}{E_c} \cdot f_c \quad (2.23)$$

2.4.2 Kehilangan Prategang Akibat Slip Pengangkuran

Kehilangan ini terjadi ketika kabel tendon dilepaskan dari mesin *jacking* dan gaya tarik ditahan langsung oleh baji dipengangkuran. Secara umum slip di pengangkuran biasanya mencapai 2,5 mm dengan besar perpangjangan total tendon dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta L = \frac{f_c}{E_s} L \quad (2.24)$$

Dengan kehilangan prategang akibat slip,

$$ANC = \frac{S_{rata-rata}}{\Delta L} \times 100\% \quad (2.25)$$

Keterangan:

ANC = Presentasi kehilangan prategang akibat slip pada angkur

ΔL = Deformasi pada angkur

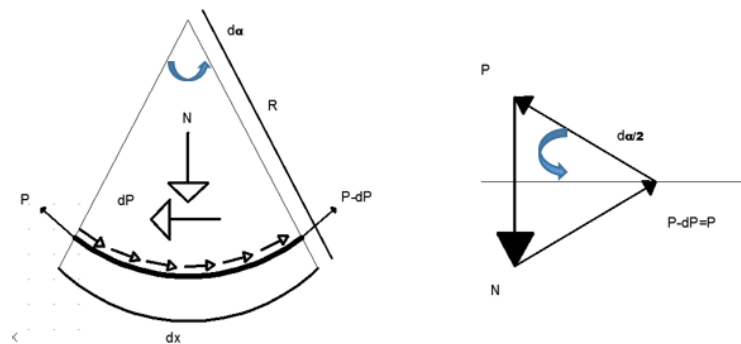
f_c = Tegangan pada beton

L = Panjang kabel

S_{rata} = Harga rata-rata slip pada angkur

2.4.3 Kehilangan Prategang Akibat Friksi dan *Wobble*

Berdasarkan buku perancangan beton prategang, kehilangan akibat friksi dikenal dengan fenomena kehilangan tegangan akibat *fraction and wobble*. Kehilangan ini diakibatkan terjadinya friksi antara kabel dan selongongan yang diilustrasikan sebagai berikut ;



Gambar 2.7 Kehilangan Tegangan Akibat *Fraction and Wobble*

Ilustrasi di atas membentuk sebuah rumus sebagai berikut :

$$N = 2p \sin \frac{da}{2} \quad (2.26)$$

Koefisien friksi dinotasikan dengan symbol μ dan sudut da terhitung sangat kecil, maka untuk kehilangan prategang akibat friksi dengan panjang dx adalah,

$$dP = \mu N \quad (2.27)$$

$$N = 2 \sin \frac{da}{2} = da \quad (2.28)$$

Sehingga rumus kehilangan prategang akibat friksi hasil substitusi persamaan (2.29) ke persamaan (2.30) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$dP = \mu P da \quad (2.31)$$

Sedangkan akibat terjadinya perubahan pada kelengkungan yang biasanya terjadi pada tendon para bola juga dapat kehilangan prategang dirumuskan sebagai berikut:

$$dP = KP dx \quad (2.32)$$

Dimana: K = Koefisien *wabble*

Sehingga total gaya prategang yang hilang adalah,

$$dP = \mu P da + KP dx \quad (2.33)$$

Kemudian diintegrasikan hasilnya menjadi,

$$\ln\left(\frac{P_B}{P_A}\right) = \mu(a) + K(x) \quad (2.34)$$

Atau,

$$P_B = P_A e^{(\mu a + Kx)} \quad (2.35)$$

Keterangan :

P_B = Gaya prategang diujung angkut

P_A = Gaya prategang di titik tinjau

μ = Koefisien geseran kelengkungan kabel

α = Sudut kemiringan

x = Panjang tendon dari angkut ke titik tinjau

e = 2,7183

Berdasarkan rumus-rumus di atas, untuk nilai μ yaitu antara 0,05 – 0,3. Sedangkan untuk koefisien *wabble* tergantung jenis tendon. Berdasarkan SNI 2847-2002, untuk koefisien μ dan K bisa dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.5 Koefisien *Wobble and friction*

		Jenis Baja Prategang	Koef. Wobble K (1/m)	Koef. Friksi (μ)
		Tendon Kawat	0,0033 – 0,0049	0,15 – 0,25
		Batang Kekuatan Tinggi	0,0003 – 0,0020	0,08 – 0,30
		Strand 7 Kawat	0,0016 – 0,0066	0,15 – 0,25
Tendon tanpa Lekatan	Mastic Coated	Tendon Kawat	0,0033 – 0,0066	0,05 – 0,15
		Stand 7 Kawat	0,0033 – 0,0066	0,05 – 0,15
	Pre Greassed	Tendon Kawat	0,0010 – 0,0066	0,05 – 0,15
		Stand 7 Kawat	0,0010 – 0,0066	0,05 – 0,15

2.4.4 Kehilangan Prategang Akibat Rangkak

Kehilangan prategang akibat dari rangkai beton dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$\Delta\sigma_{pcr} = K_{cr} f_{cp} \frac{E_s}{E_c} = n K_{cr} f_{cp} \quad (2.36)$$

Keterangan ;

K_{cr} = Koefisien rangkai, bernilai 1,6 untuk metode *post-tension*

f_{cp} = Tegangan prategang pada tendon

Ketika beban SDIL (*Super Imposed Dead Load*) biasanya diberikan setelah beban mati/beban sendiri, maka untuk kehilangan totalnya akan menjadi,

$$\Delta\sigma_{pcr} = n K_{cr} (f_{cp} - f_{cp\ SDIL}) \quad (2.37)$$

2.4.5 Kehilangan Prategang Akibat Penyusutan pada Beton

Penyusutan beton dipengaruhi oleh rasio dari volume beton dan luas permukaan beton. Kehilangan akibat susut beton ini dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$\Delta\sigma_{PSH} = \epsilon_{sn} \left(\frac{t}{t + 35} \right) E_s \quad (2.38)$$

Keterangan:

ϵ_{sn} = Regangan ultimit. 800×10^{-6} untuk *moist curing* dan 730×10^{-6} untuk *steam curing*

t = Waktu dalam hari

E_s = Modulus elastisitas tendon

2.4.6 Kehilangan Prategang Akibat Relaksasi dari Tegangan Baja Prategang

Kehilangan prategang akibat relaksasi terjadi pada baja prategang selama pada periode pengurangan gaya prategang. Pengurangan gaya prategang yang bergantung pada lamanya waktu berjalan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\Delta\sigma_{Pr} = f_{pi} \left(\frac{\log t_2 - \log t_1}{k} \right) \left(\frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right) \quad (2.39)$$

Keterangan :

k = 45 untuk *stress-relivied tendon* dan 10 untuk *low strand*

f_{py} = Tegangan leleh pada tendon $0,85 f_{pu}$ untuk *stress-relivied tendon* dan $0,9$ untuk *low strand*

f_{pu} = Tegangan putus tendon

t_1, t_2 = Waktu awal dan waktu akhir

Secara umum untuk tahap tinjauan tebagi atas dua tahap, yaitu tahap awal dilakukan pada waktu 1 – 18 jam tepat saat transfer dan tahap kedua dilakukan pada

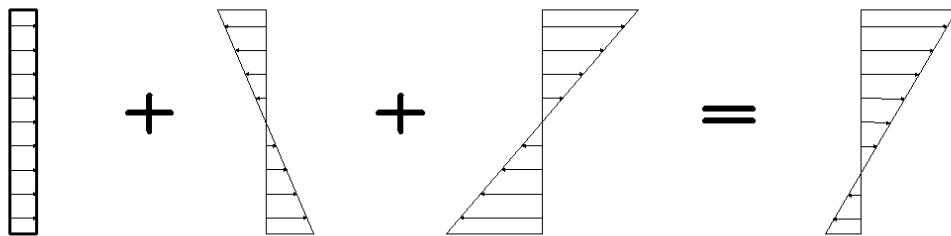
waktu 18 – 720 jam. Selain tergantung pada lamanya waktu, pengurangan gaya prategang juga dipengaruhi oleh rasio prategang awal dan prategang akhir.

2.5 Tegangan

2.5.1 Tagangan Elastis

Analisis tegangan dilakukan untuk mengetahui apakah gaya prategang dan desain tendon prategang dapat memikul beban yang bekerja. Proses analisis tegangan ini terdapat tiga cara yang dapat dipakai, yaitu cara kombinasi, kopel internal dan keseimbangan. Namun, pada kali ini penulis hanya akan membahas cara kombinasi saja karena dari ketiga cara tersebut akan memberikan hasil yang sama.

Analisis dengan kombinasi tegangan memiliki tiga komponen yang dikombinasikan, yaitu akibat gaya prategang, akibat eksentrisitas tendon prategang dan akibat beban luar. Seperti diilustrasikan pada gambar 2.8 berikut ini.



Gambar 2.8 Ilustrasi Analisis Kombinasi Tegangan

Gaya horizontal **P** yang bekerja pada gaya prategang saja, menyebabkan tegan yang terjadi pada seluruh permukaan penampang memiliki nilai yang sama, dapat dicari dengan persamaan berikut ini:

$$f_{top,gaya\ prategang} = f_{bottom,gaya\ prategang} = -\frac{P}{A_e} \quad (2.40)$$

Keterangan : A_e = Luas penampang beton (mm^2)

f_{top} = Tegangan serat beton atas terluar (MPa)

f_{bott} = Tegangan serat beton bawah terluar (MPa)

Selanjutnya akibat eksentrisitas tendon prategang, akan membentuk momen sebesar $P e$. Sehingga hal ini memberikan nilai yang berbeda pada serat bawah dan serat atas yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$f_{top,eksentrisitas} = \frac{P e y_{top}}{I} \quad (2.41)$$

$$f_{bottom,eksentrisitas} = \frac{P e y_{bottom}}{I} \quad (2.42)$$

Keterangan : y_{top} = Jarak dari garis netral ke serat atas penampang (mm)

y_{bottom} = Jarak dari garis netral ke serat bawah penampang (mm)

I = Momen inersia dari penampang (mm⁴)

Selanjutnya akibat beban luar yang akan timbul momen M yang sama-sama akan menghasilkan tegangan yang berbeda antara serat atas dan serat bawah yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$f_{top,beban\ luar} = \frac{M y_{top}}{I} \quad (2.43)$$

$$f_{bottom,beban\ luar} = \frac{M y_{bottom}}{I} \quad (2.44)$$

Sehingga dari ketiga perhitungan tersebut dapat dikombinasikan menjadi tegangan total yang terjadi pada serat atas dan serat bawah penampang. Hal tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$f_{top} = f_{top,gaya\ prategang} + f_{top,eksentrisitas} + f_{top,beban\ luar} \quad (2.45)$$

$$f_{bottom} = f_{bottom,gaya\ prategang} + f_{bottom,eksentrisitas} + f_{bottom,beban\ luar} \quad (2.46)$$

2.5.2 Batas Tegangan

Batas tegangan berfungsi untuk menjamin supaya elemen pada struktur prategang tidak mengalami retak. Hal ini diatur dalam SNI 2847-2013 yaitu sebagai berikut:

$$\text{Kondisi awal, tekan} \quad F_{ti} = 0,5\sqrt{f_c'} \quad (2.47)$$

$$\text{Kondisi awal, tarik} \quad F_{ci} = -0,6\sqrt{f_c'} \quad (2.48)$$

$$\text{Kondisi efektif, tarik} \quad F_t = 0,5\sqrt{f_c'} \quad (2.49)$$

$$\text{Kondisi efektif, beban mati} \quad F_{c,DL} = -0,45f_c' \quad (2.50)$$

$$\text{Kondisi efektif, beban total} \quad F_{c,total} = -0,6f_c' \quad (2.51)$$

Selain itu, batasan tegangan tarik pada baja prategang juga sangat penting untuk diperhatikan selama fase konstruksi dapat diatur dalam persamaan berikut ini:

$$F_{pj} = 0,94f_{py} < 0,8f_{pu} \quad (2.52)$$

Untuk tendon pasca tarik tepat ketika perangkat angkur dan kopler sesaat setelah mentransfer gaya,

$$F_{pj} = 0,7f_{pu} \quad (2.53)$$

2.6 Perencanaan Struktur Atas

2.6.1 Balok Non-Prategang

2.6.1.1 Preliminary Design Balok

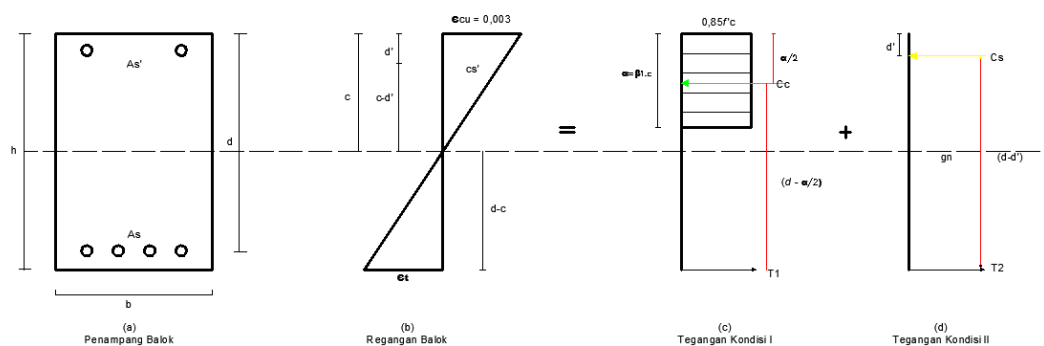
Berdasarkan SNI 2847-2019, Pasal 18.6.2, diatur mengenai lebar balok (b_w) harus tidak kurang dari $0,3h$ dan 250mm. Sedangkan pada Pasal 9.3.1, diatur untuk tinggi minimum balok (h) yaitu sesuai Tabel 2.5 berikut.

Tabel 2.6 Syarat Tinggi Minimum Balok

Perletakan	Tinggi Minimum Balok (h)
Perletakan sederhana	$l/16$
Perletakkan jepi-jepit	$l/12$
Perletakan menerus dua sisi	$l/18,5$
Perletakan menerus satu sisi	$l/21$
Kantilever	$l/8$

2.6.1.2 Kuat Lentur Balok Tulangan Rangkap

Momen lentur membuat perilaku lentur balok mengalami tagangan dan regangan khususnya yang dibahas pada tulangan rangkap seperti pada gambit 2.9.



Gambar 2.9 Konsep Kuat Lentur Balok Tulangan Rangkap

Tulangan rangkap memiliki tulangan tekan ($A_{s'}$) yang membuat parameter gaya tekan (C_s) muncul. Sehingga pada analisis nilai gaya tekan tulangan tarik (T) dibagi menjadi T_1 (kondisi I) dan T_2 (kondisi II), yang dapat ditulis menjadi $T = T_1 + T_2$. Kemudian untuk momen nominal pada kondisi I dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

Gaya tekan beton (C_c),

$$C_c = 0,85f'_c \cdot a \cdot b \quad (2.54)$$

Gaya tarik pada tulangan T_1 ,

$$T1 = A_{s1}fy \quad (2.55)$$

Momen nominal kondisi I (M_{n1}),

$$M_{n1} = A_{s1}fy \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.56)$$

Luas tulangan tarik (A_s),

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \quad (2.57)$$

Momen nominal pada kondisi II dihitung dengan komponen persamaan berikut:

Gaya tarik tulangan ($T2$),

$$T2 = A_{s2}fy \quad (2.58)$$

Gaya tekan tulangan (C_s),

$$C_s = A'_s f'_s \quad (2.59)$$

Momen nominal kondisi II (M_{n2})

$$M_{n2} = A'_s f'_s (d - d') \quad (2.60)$$

Luas tulangan tekan (A_s')

$$A_s' = A_{s2} \quad (2.61)$$

Kondisi tegangan tulangan tekan belum leleh (f'_s)

$$f'_s = E_s \cdot \epsilon'_s = 600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) \quad (2.62)$$

Momen nominal (M_n) diperoleh berdasarkan kondisi I dan kondisi II di atas, maka persamaannya adalah sebagai berikut:

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad (2.63)$$

$$M_n = Cc \left(d - \frac{a}{2} \right) + Cs(d - d') \quad (2.64)$$

$$Cc = Cs - T1 = (A'_s f'_s) - (A_{s1} f_y) \quad (2.65)$$

$$Mn = [(A'_s f'_s) - (A_{s1} f_y)] \left(d - \frac{a}{2} \right) + (A'_s f'_s)(d - d') \quad (2.66)$$

Tulangan rangkap digunakan apabila $M_{n1} < M_n$, sedangkan apabila kondisi sebaliknya maka balok akan menggunakan tulang tunggal.

2.6.1.3 Kuat Geser Balok

Kuat geser nominal (V_n) dihasilkan dari penjumlahan kuat geser beton (V_c) dan tulangan geser (V_s). Berdasarkan SNI 2847-2019, mengenai desain kuat geser balok untuk persyaratan geser nominal harus memenuhi persamaan (2.67) dengan faktor reduksi $\phi = 0,75$.

$$Vu = \phi V_n \quad (2.68)$$

Kemudian, dimensi penampang balok harus diperbesar apabila tidak mampu menahan beban geser sesuai dengan persamaan (2.69).

$$Vu = \phi V_n = \phi(V_c + 0,66\sqrt{f'_c}b_w d) \quad (2.70)$$

Secara bersamaan M_u dan V_u menerima pembebanan dan harus memenuhi persyaratan sesuai dengan persamaan (2.71).

$$\frac{Vu \cdot d}{Mu} < 1,0 \quad (2.72)$$

Kemudian untuk nilai kuat geser beton (V_c) diambil nilai paling kecil dan diatur pada persamaan berikut,

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b_w d \quad (2.73)$$

$$V_c = \left(0,16\lambda\sqrt{f'c} + 17\rho_w \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right) b_w d \quad (2.74)$$

$$V_c = \left(0,16\lambda\sqrt{f'c} + 17\rho_w \right) b_w d \quad (2.75)$$

$$V_c = 0,29\lambda\sqrt{f'c} b_w d \quad (2.76)$$

Keterangan :

λ = Faktor modifikasi, untuk beton normal = 1,0

ρ_w = Rasio tulangan tarik ($A_s/b_w \cdot d$)

V_u = Gaya geser *ultimate* (N)

M_u = Momen *ultimate* (Nmm)

b_w = Lebar penampang balok (mm)

d = Tinggi efektif balok (mm)

Kemudian apabila digunakan tulangan geser (V_s) dengan posisi tegak lurus ($\alpha = 90^\circ$), maka digunakan persamaan berikut,

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{s} < V_{s, max} = 0,66\sqrt{f'c} b_w d \quad (2.77)$$

Kemudian untuk rasio luas tulangan geser (A_v) dengan jarak (s), maka dihitung dengan persamaan (2.78) dan untuk (n) merupakan jumlah sengkang.

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi f_{yt} \cdot d} \quad (2.79)$$

$$A_v = n \cdot \frac{1}{4} \pi D^2 \quad (2.80)$$

Nilai A_v diambil nilai yang paling besar untuk menentukan jumlah luasan minimum ($A_{v,min}$), maka persamaannya sebagai berikut,

$$\frac{A_{v,min}}{s} = 0,062\sqrt{f'c} \frac{b_ws}{f_{yt}} \quad (2.81)$$

$$\frac{A_{v,min}}{s} = \frac{0,35b_ws}{f_{yt}} \quad (2.82)$$

Nilai jarak minimum juga harus diperhatikan saat menentukan jarak tulangan geser (s), yang diambil nilai paling kecil dengan ketentuan sebagai berikut:

$$V_s \leq V_{c1} = 0,33\sqrt{f'c}b_wd ; S_{max} = \frac{d}{2} \text{ atau } 600 \text{ mm} \quad (2.83)$$

$$V_s > V_{c1} = 0,33\sqrt{f'c}b_wd ; S_{max} = \frac{d}{4} \text{ atau } 300 \text{ mm} \quad (2.84)$$

Berdasarkan gaya geser *ultimate*, ada beberapa kategori saat menentukan tulangan geser balok. Tulangan geser tidak perlu dipasang jika $V_u < 0,5\phi V_c$, tulangan geser digunakan dengan V_s dan A_v bernilai minimal apabila $0,5\phi V_c < V_u < \phi V_c$, dan tulangan geser mengambil nilai paling besar dari V_s dan A_v apabila $V > \phi V_c$.

2.6.1.4 Momen Torsi Balok

Mengacu pada SNI 2847-2019; Pasal 22.7.1.1 Pengaruh torsi pada elemen balok dapat diabaikan jika memenuhi persamaan berikut;

$$\phi T_{th} \geq T_u \quad (2.85)$$

$$T_{th} = 0,083\lambda\sqrt{f'c} \left(\frac{A_{cp^2}}{P_{cp}} \right) \quad (2.86)$$

Keterangan :

T_u = Nilai torsi terfaktor dari analisis

T_{th} = Nilai torsi *threshold* (Nmm)

ϕ = Faktor reduksi (0,75)

λ = Faktor modifikasi dengan nilai 1,0

A_{cp} = Luas batas keliling penampang beton (m^2)

P_{cp} = keliling luar penampang beton (mm)

Kuat nominal torsi (T_n) diatur dalam SNI 2847-2019; Pasal 22.7.6.1 yang menyatakan bahwa untuk nominal torsi diambil nilai terkecil dari kedua persamaan berikut,

$$T_n = \frac{2A_0A_t f_{yt}}{s} \cot \theta \quad (2.87)$$

$$T_n = \frac{2A_0A_t f_{yt}}{p_h} \tan \theta \quad (2.88)$$

Keterangan :

T_n = Kuat nominal torsi nominal (Nmm)

A_0 = Luas bruto yang dilingkupi lintasan alir geser, $A_0 = 0,85 A_{oh}$ (mm^2)

A_t = Luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan torsi dalam spasi s (mm^2)

f_{yt} = Kuat leleh tulangan transversal (MPa)

f_y = Kuat leleh tulangan disyaratkan (MPa)

s = spasi tulangan transversal (mm)

θ = Sudut 45°

Penampang balok dalam pengaruh torsi terdapat batasan sebagai mana pada persamaan (2.89).

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{b_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot P_h}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{Vc}{b_w \cdot d} + 0,66 \sqrt{f'c} \right) \quad (2.90)$$

Keterangan :

A_{oh} = Luas daerah tulangan geser (mm^2)

P_h = Keliling daerah tulangan geser (mm)

$d \geq 0,85$ dengan h adalah tinggi penampang balok. Jika penampang yang direncanakan tidak memenuhi syarat yang tertera, maka penampang perlu

diperbesar. Kemudian untuk pengaruh torsi diproyeksikan pada tulangan tulangan memanjang dan transversal yang diatur dalam SNI 2847-2019 sebagai berikut :

1. Tulangan Transversal (torsi)

Luasan minimum harus tidak lebih kecil dari persamaan berikut,

$$\frac{(A_v + 2A_t)_{min}}{s} \geq 0,062\sqrt{f'c} \frac{b_w}{f_{yt}} \quad (2.91)$$

$$\frac{(A_v + 2A_t)_{min}}{s} \geq 0,35 \frac{b_w}{f_{yt}} \quad (2.92)$$

Nilai A_v didapat dari persamaan geser dan nilai A_t diperoleh dengan persamaan berikut,

$$A_l = \frac{Tu.s}{\phi 2A_0 f_{yt}} \tan \theta \quad (2.93)$$

2. Tulangan memanjang (torsi)

Luasan tulangan memanjang (A_l), dihitung dengan persamaan berikut,

$$A_l = \left(\frac{A_t}{s}\right) Ph \left(\frac{f_{yt}}{f_y}\right) \cot^2 \theta \quad (2.94)$$

$$A_l = \frac{Tu.Ph}{\phi 2A_0 f_y} \tan \theta \quad (2.95)$$

Kemudian untuk luasan minimum tulangan harus tidak lebih besar dari persamaan berikut,

$$A_{l,min} = 0,42\sqrt{f'c} \frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{A_t}{s}\right) ph \frac{f_{yt}}{f_y} \quad (2.96)$$

$$A_{l,min} = 0,42\sqrt{f'c} \frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{0,175b_w}{f_{yt}}\right) ph \frac{f_{yt}}{f_y} \quad (2.97)$$

Kemudian dalam SNI 2847-2019 diatur mengenai batasan spasi tulangan torsi. Tulangan trasnsversal ditulis dalam persamaan (2.98) dan tulangan memanjang ditulis dengan persamaan (2.99).

$$s \leq \frac{Ph}{8} \leq 300 \text{ mm} \quad (2.100)$$

$$s \leq (bt + d) \quad (2.101)$$

Mutu tulangan dan beton dalam analisis torsi harus memenuhi syarat yaitu $f_{yt} \leq 420 \text{ MPa}$ untuk tulangan dan $\sqrt{f'_c} \leq 8,3 \text{ MPa}$.

2.6.2 Balok Prategang

2.6.2.1 Preliminary Design Balok Prategang

Secara umum dalam menentukan dimensi balok prategang hampir sama dengan menentukan balok bertulang konvensional yaitu dengan ketentuan sebagai berikut:

$$h_{min} = \frac{1}{20} L \quad (2.102)$$

$$b = \frac{2}{3} h \quad (2.103)$$

Keterangan :

h = Tinggi balok (cm)

L = Panjang balok (cm)

b = Lebar balok (cm)

2.6.2.2 Kuat Lentur Balok Prategang

Kapasitas kekuatan pada balok prategang salah satunya dapat diketahui dengan mengecek defleksi atau lendutannya. Adapun lendutan yang bekerja adalah sebagai berikut.

1. Lendutan Akibat Tekanan Tendon

Tekanan tendon mengakibatkan elemen balok tertekuk ke arah atas dan mengakibatkan lendutan ke arah atas. Sedangkan lendutan izin hanya mengarah ke bawah. Hal ini akan dilawan oleh beban eksternal dan beban berat baloknya sendiri.

$$\Delta l_{po} = \frac{5}{384} \times \frac{P_0 \times l^4}{E_c \times I} \quad (\uparrow) \quad (2.104)$$

Dengan nilai P :

$$P_0 = \frac{8 \times F_0 \times f}{l^2} \quad (2.105)$$

Keterangan :

F_0 = Gaya Prategang (N)

f = Fokus tendon (eksentrisitas dari cgs, mm)

l = Panjang Efektif (dalam mm)

E_c = Modulus Elastisitas Beton (MPa)

I = Inertia Balok (dalam mm)

2. Lendutan Akibat Eksentrisitas Tepi Balok

Besarnya lendutan yang muncul akibat dari eksentrisitas tepi balok ditentukan dengan persamaan (2.106).

$$\Delta l_{me} = \frac{F_0 \times e \times l^2}{8E_c \times I} \quad (\downarrow) \quad (2.107)$$

3. Lendutan Akibat Berat Sendiri

Berat sendiri elemen struktur membuat lendutan ke arah bawah yang ditentukan dengan persamaan (2.108).

$$\Delta l_{qo} = \frac{5}{384} \times \frac{q_0 \times l^4}{E_c \times I} \quad (\downarrow) \quad (2.109)$$

Keterangan :

q_0 = Berat sendiri saat *jacking* (N/mm)

2.6.2.3 Kuat Geser Balok Prategang

Kebutuhan untuk tulangan geser yang diperlukan oleh balok dapat dilihat dari $V_s = V_u - \phi V_c$. Di mana V_u merupakan gaya ultimate yang terjadi, dan ϕV_c merupakan kuat geser dari beton. Untuk komponen balok prategang nilai V_c diambil nilai terkecil antara V_{ci} dan V_{cw} sesuai pada SNI 2847:2013 pasal 11.3.3.

1. Kuat geser nominal akibat kombinasi momen dan geser (V_{ci})

$$V_{ci} = 0,05\lambda\sqrt{f'_c} \times b_w \times d_p + V_d + \frac{v_i \times M_{cre}}{M_{max}} \quad (2.110)$$

Keterangan :

V_i = Gaya geser terfaktor akibat beban luar yang terjadi bersamaan dengan M_{max}

M_{cre} = Momen yang menyebabkan retak lentur penampang

M_{max} = Momen terfaktor maksimum

V_d = Gaya geser penampang akibat beban mati tidak terfaktor

D_p = Jarak serat tekan terluar ke titik berat tendon

b_w = Lebar penampang balok

2. Gaya geser nominal akibat tegangan tarik utama yang berlebihan pada badan penampang (V_{cw})

$$V_{cw} = (0,3f_{pc} + 0,29\lambda\sqrt{f'_c}) \times b_w \times d + V_p \quad (2.111)$$

Keterangan :

V_p = Komponen vertikal gaya prategang efektif pada penampang

f_{pc} = Tegangan tekan pada beton setelah mengalami kehilangan pada titik berat penampang

f_c = Kuat tekan beton yang disyaratkan

d = Jarak serat tekan terluar ke titik berat tendon

2.6.2.4 Momen Torsi Balok Prategang

Momen torsi merupakan momen yang terjadi berupa puntiran pada suatu elemen struktur (Prof. Ir. Bambang Budiono, 2019). Hal ini terjadi akibat pengaruh eksentrisitas gaya terhadap titik berat penampang. Adapun tegangan torsi yang akan terjadi dapat dicari menggunakan persamaan berikut.

$$\tau = \frac{M_t}{2tA} \quad (2.112)$$

Dengan *Shear Flow* yang terjadi,

$$q = \tau \cdot t \quad (2.113)$$

$$q = \frac{M_t}{2tA} \cdot t = \frac{M_t}{2A}$$

Perlu diperhatikan bahwa nilai t dan A diperoleh nilai,

$$t = \frac{3A_{cp}}{4P_{cp}} \quad (2.114)$$

$$A = \frac{2}{3} A_{cp} \quad (2.115)$$

Maka, didapatkan nilai dengan substitusi terhadap persamaan (2.116),

$$\tau = \frac{M_t}{2 \left(\frac{3A_{cp}}{4P_{cp}} \right) \left(\frac{2}{3} A_{cp} \right)} = \frac{M_t \cdot P_{cp}}{A_{cp}^2} \quad (2.117)$$

Keterangan :

t = Ketebalan *thin walled*

A_{cp} = Luasan luar beton

P_{cp} = Keliling luar beton

Kemudian untuk kuat torsi pada saat beton retak didefinisikan sebagai kuat torsi kontribusi beton (T_{cr}) dengan persamaan sebagai berikut.

$$T_{cr} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}^2} \right) \sqrt{1 + \frac{f_{pc}}{0,33 \lambda \sqrt{f'c'}}} \quad (2.118)$$

Persamaan di atas ketika beton prategang dibebani oleh momen torsi *ultimate* dan melebihi momen torsi kritis (momen torsi kontribusi beton), maka struktur ini memerlukan tulangan torsi.

2.6.2.5 Pengankuran Balok Prategang

Kuat tekan nominal beton pada daerah pengankuran global diisyaratkan oleh SNI 03-2847-2013 pasal 18.13.3. Hal ini berbeda dengan kuat tekan nominal beton lainnya, dikarenakan tekanan pada beton tepat di daerah pengankuran cukup besar. Sehingga dikhawatirkan akan terjadinya kegagalan pada struktur prategang saat pengankuran tendon. Adapun persamaan dalam menentukan perkuatan pada daerah pengankuran adalah sebagai berikut.

$$T_{\text{pencar}} = 0,25 \Sigma P_u \left(1 - \frac{\alpha}{h} \right) \quad (2.119)$$

$$d_{\text{pencar}} = 0,5(h - 2e) \quad (2.120)$$

Keterangan :

ΣP_u = Jumlah gaya tendon terfaktor total

α = Tinggi angkur stsu kelompok yang berdekatan pada arah tinjau

e = Eksentrisitas angkur

h = Tinggi penampang pada arah yang ditinjau

2.6.3 Pelat

2.6.3.1 Preliminary Design Pelat

Terdapat dua jenis yang diaplikasikan pada bangunan gedung yaitu pelat satu arah (*one way slab*) atau pelat dua arah (*two way slab*), persamaan berikut menunjukkan perbedaan dari keduanya.

$$\frac{l_p}{b_p} > 2 \quad (\text{Pelat satu arah}) \quad (2.121)$$

$$\frac{l_p}{b_p} \leq 2 \quad (\text{Pelat dua arah}) \quad (2.122)$$

Keterangan :

l_p = Bentang terpanjang

b_p = Bentang terpendek

2.6.3.2 Pelat satu arah (*One Way*)

Berdasarkan SNI 2847-2019, pada Tabel 7.3.1.1, peraturan mengenai tebal minimum pelat satu arah (*one way slab*) dijelaskan pada Tabel 2.6 berikut.

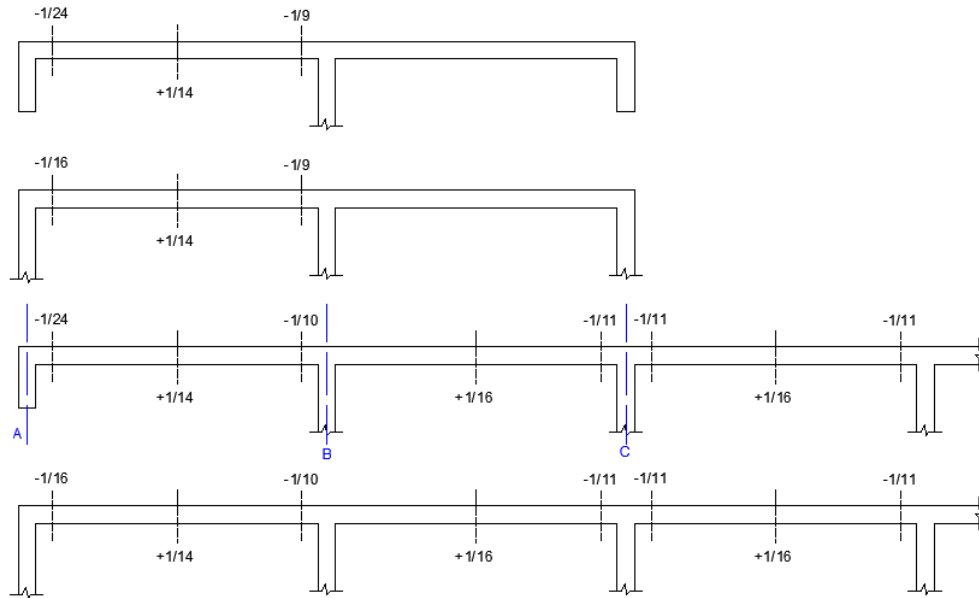
Tabel 2.7 Tebal Minimum Pelat Satu Arah

Jenis Tumpuan	h minimum
Tumpuan sederhana	$l/20$
Satu ujung menerus	$l/24$
Kedua ujung menerus	$l/28$
Kantilever	$l/10$

Analisis perilaku momen terfaktor (M_u) dan gaya terfaktor (V_u) pada pelat dapat menggunakan koefisien momen dan geser yang tercantum pada SNI 2847-2019, Pasal 6.5 yang harus memenuhi kriteria berikut:

1. Komponen struktur prismatic
2. Beban terdistribusi secara merata
3. Terdapat dua bentang atau lebih
4. Panjang bentang terbesar terhadap panjang bentang terpendek dari dua bentang yang bersebelahan tidak lebih dari 20%.
5. Beban hidup (LL) tidak terfaktor tidak melebihi tiga kali beban mati (DL) tidak terfaktor ($LL \leq 3DL$).

Apabila perencanaan pelat belum memenuhi persyaratan di atas, maka untuk memperoleh momen terfaktor (M_u) dan geser terfaktor (V_u) dari pelat satu arah dilakukan analisis orde pertama pada software SAP2000. Momen terfaktor pada tumpuan dan lapangan digambarkan pada Gambar 2.10 berikut.



Gambar 2.10 Momen Terfaktor pada Tumpuan dan Lapangan

Kemudian untuk nilai gaya geser terfaktor yang di gambarkan pada sumbu A digunakan persamaan (2.119) dan selain pada sumbu A digunakan persamaan (2.120).

$$V_u = \frac{1,15Q_u L_n}{2} \quad (2.121)$$

$$V_u = \frac{Q_u L_n}{2} \quad (2.122)$$

Keterangan :

Q_u = Beban terfaktor per satuan panjang pelat satu arah (N/mm)

L = Panjang bentang bersih yang diukur muka ke muka tumpuan (mm)

Kemudian dalam persyaratan kuat lentur, hubungan faktor tahanan (R_n) dan M_n didapat dari persamaan berikut,

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} R_n b d^2 \quad (2.123)$$

Luas tulangan lentur minimum ($A_{s,min}$) harus disesuaikan dengan tabel berikut,

Tabel 2.8 Syarat Batas Penulangan

Tipe Tulangan	f_y (MPa)	$A_{s,min}$ (lentur)	P_{min} (susut)
Batang ulir	< 420	$0,002A_g$	0,002
Batang ulir atau kawat las	≥ 420	$\frac{0,0018 \cdot 420}{f_y} A_g$	$\frac{0,0018 \cdot 420}{f_y}$
		$0,0014A_g$	0,0014

Luasan total penampang dapat dihitung dengan persamaan (2.124) berikut,

$$A_g = b \cdot h \quad (2.125)$$

Keterangan :

b, h = Lebar pelat (m) dan tebal pelat (mm)

Jarak spasi maksimum s untuk tulangan ulir tidak boleh lebih dari 3h dan 450 mm. Selain itu, spasi tulangan yang disyaratkan tidak melebihi nilai terkecil dari 5h dan 450 mm.

2.6.3.3 Pelat Dua Arah (*Two Way*)

Berdasarkan SNI 2847-2019, Tabel 8.3.1.2 mengenai tebal minimum pelat dua arah dijelaskan dalam Tabel 2.8.

Tabel 2.9 Tebal Minimum Pelat Dua arah

α_{fm}	h minimum	
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	SNI 2847-2019, Pasal 8.3.1.1 berlaku	
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 0,2$	Terbesar dari	$\frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}$

		125
$\alpha_{fm} > 0,2$	Terbesar dari	$\frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$
		90

Berdasarkan SNI 2847-2019, Pasal 8.10, besar momen pelat dua arah dapat dicari dengan metode desain langsung (*direct design method*). Prosedur ini diawali dengan menentukan besaran momen pada tumpuan dan lapangan. Selanjutnya momen didistribusikan pada balok dan elemen pelat. Momen yang didistribusikan pada pelat digunakan untuk mendesain tulangan lentur pelat. Di mana dalam perencanaan tulangan lentur terdapat beberapa persyaratan sebagaimana yang diatur pada SNI 2847-2019, Pasal 10.2 berikut :

1. Terdapat tiga bentang menerus dalam masing-masing arah
2. $L_p/b_p \leq 2$
3. Posisi kolom dapat menyimpang paling jauh 10% panjang bentang dari garis yang menghubungkan sumbu-sumbu kolom yang berdekatan
4. Panjang bentang yang bersebelahan, diukur antara sumbu ke sumbu tumpuan pada arah yang tidak berbeda dari sepertiga bentang terpanjang.
5. Beban yang diperhitungkan hanya beban gravitasi yang terbagi merata pada seluruh panel pelat
6. $L < 2DL$
7. Pada panel dengan balok diantara tumpuan pada semua sisi, harus memenuhi persamaan (2.126) berikut,

$$0,2 \leq \frac{a_{f1} L_2^2}{a_{f2} L_1^2} \leq 5,0 \quad (2.127)$$

$$a_f = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s} \quad (2.128)$$

Keterangan :

α_f = Rasio perbandingan kekakuan balok terhadap pelat

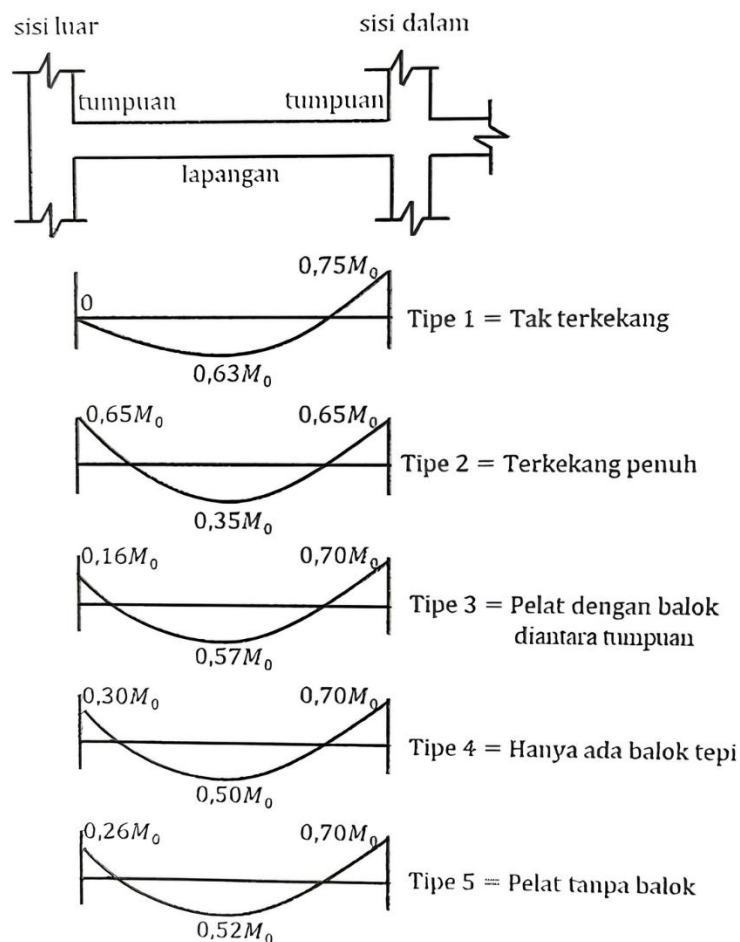
E_{cb} = Modulus elastisitas beton pada balok

E_{cs} = Modulus elastisitas beton pada pelat

I_b = Momen inersia penampang balok

I_s = Momen inersia penampang pelat

Kemudian pada pelat dua arah tepatnya untuk momen pada arah memanjang terdapat momen interior dan momen eksterior. Pada bentang interior, momen statis total terfaktor (M_0) terbagi atas $9,65M_0$ untuk momen negative dan $0,35M_0$ untuk momen positif. Sedangkan untuk bentang ekstrior, momen statis total terfaktor (M_0) terbagi atas beberapa kondisi tergantung kondisi pada pelat. Seperti pada gambar berikut,



Gambar 2.11 Momen Statis Total Terfaktor

Kemudian proses distribusi momen pada lebar *equivalent rigid frame* dibagi menjadi lajur kolom dan lajur tengah. Proses distribusi lajur kolom memiliki tiga syarat yang perlu diperhatikan, diantaranya yaitu :

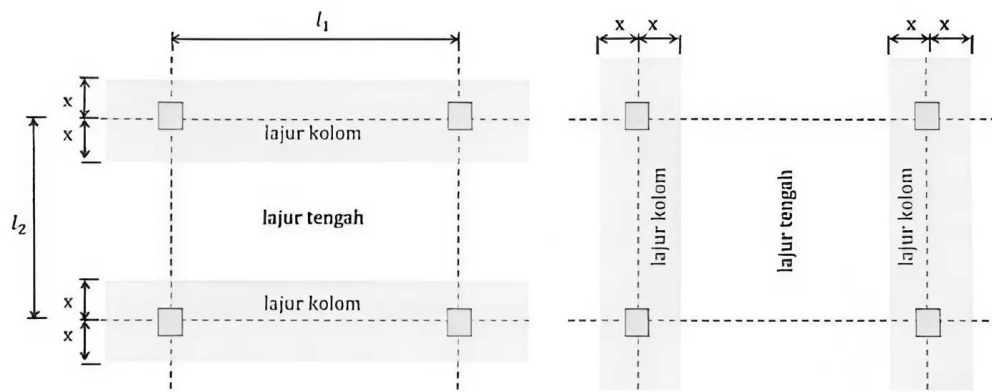
1. Aspek rasio $\alpha_{fl} = (E_{eb}.I_b / E_{es}.I_s)$
2. Rasio l_1/l_2
3. β_t , Aspek rasio kekakuan torsi penampang balok tepi terhadap kekakuan lentur pelat dengan lebar sama dengan panjang bentang balok, yang diukur dari tumpuan.

$$\beta_t = \frac{E_{cb}C}{2E_{cs}I_s} \quad (2.129)$$

$$C = \sum \left(1 - 0,63 \frac{x}{y} \right) \frac{x^3 y}{3} \quad (2.130)$$

x, y = Dimensi terkecil, terbesar dari komponen persegi penampang

Lebar lajur kolom (x) diambil nilai terkecil dari $0,25l_1$ dan $0,25l_2$ yang diukur dari garis titik pusat pada kolom, seperti pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Lajur Kolom

Dikarenakan pada area lajur kolom terdapat elemen balok dan pelat, perlu dilakukan pembagian porsi pada daerah lajur kolom.

Tabel 2.10 Pembagian Porsi Lajur Kolom

Lokasi Momen	$\alpha_{f1} (l_2/l_1)$	β_t	Aspek Ratio (l_2/l_1)		
			0,5	1,0	2,0
M(-) Tumpuan eksterior	$\alpha_{f1} (l_2/l_1) = 0$	$\beta_t = 0$	1,0	1,0	1,0
		$\beta_t = 2,5$	0,75	0,75	0,75
	$\alpha_{f1} (l_2/l_1) \geq 1$	$\beta_t = 0$	1,0	1,0	1,0
		$\beta_t = 2,5$	0,9	0,75	0,45
M(+)	$\alpha_{f1} (l_2/l_1) = 0$		0,6	0,6	0,6
	$\alpha_{f1} (l_2/l_1) \geq 1$		0,9	0,75	0,45
M(+)	$\alpha_{f1} (l_2/l_1) = 0$		0,75	0,75	0,75
	$\alpha_{f1} (l_2/l_1) \geq 1$		0,9	0,75	0,45

Kemudian dalam menentukan komponen tulangan lentur dan susut serta persamaan geser pada pelat dua arah dapat menggunakan konsep pelat satu arah apabila komponen pelat memakai balok pada sisinya.

2.6.4 Kolom

Kolom merupakan suatu elemen struktur yang bekerja memikul beban kombinasi antara beban aksial tekan dan momen lentur. Di mana kolom didesain untuk menahan beban terfaktor yang akan dihitung menggunakan metode transferan beban dari pelat dan balok.

2.6.4.1 Preliminary Design Kolom

Dimensi kolom sudah diatur dalam SNI 2847-2019, Pasal 21 dan Pasal 18.7.2.1 yang menyatakan bahwa dimensi penampang kolom tidak kurang dari 300 mm. Selain itu, rasio dari dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tingginya tidak boleh kurang dari 0,4. Adapun rumus untuk menentukan Luasan penampang kolom akan dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{P}{A_g} \rightarrow A_g = \frac{P}{\sigma} \rightarrow A_g = \frac{P_u}{0,3 \cdot f'_c} \quad (2.131)$$

Di mana : $\sigma = \phi f'_c$

$\phi = 0,3$

$P = P_u$

2.6.4.2 Kekuatan Aksial Tekan Sentris

Berdasarkan SNI 2847-2019 menyatakan bahwa dalam kekuatan tekan aksial nominal (P_n) tidak boleh melebihi $P_{n,max}$ dan harus sesuai dengan tabel 2.10 Berikut :

Tabel 2.11 Syarat Kekuatan Aksial Sentris

Komponen	Tulangan transversal	$P_{n,max}$
Nonprategang	Senggang Persegi	$0,80P_0$
	Senggang Spiral	$0,85P_0$
Prategang	Senggang Persegi	$0,80P_0$
	Senggang Spiral	$0,85P_0$

Kuat dari kolom (P_0) dengan rasio tulangan harus dalam rentang 1% - 8% akan dihitung dengan persamaan (2.132) berikut :

$$P_0 = 0,85f_c'(A_g - A_{st}) + A_{st}f_y$$

$$P = \frac{A_{st}}{A_g} \quad (2.133)$$

Keterangan :

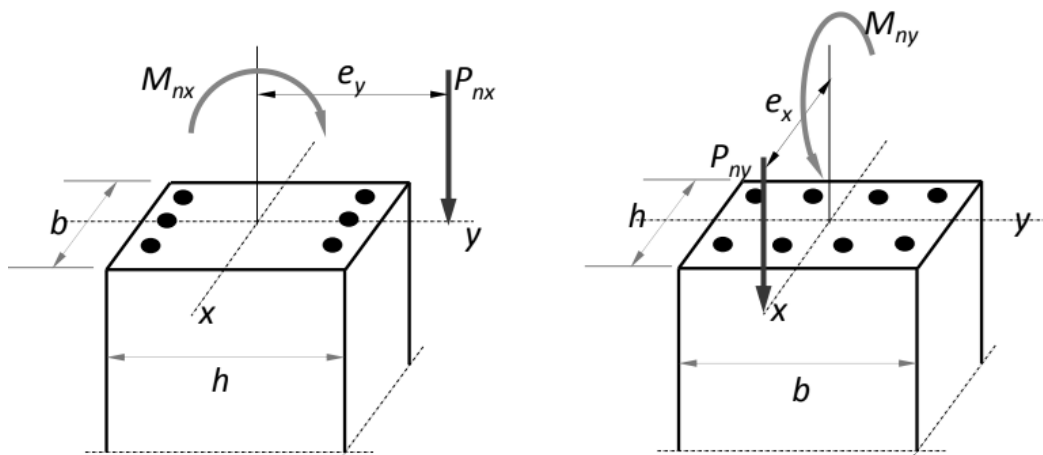
P_0 = Kuat dari kolom

A_g = Luasan penampang kolom

A_{st} = Luasan tulangan longitudinal

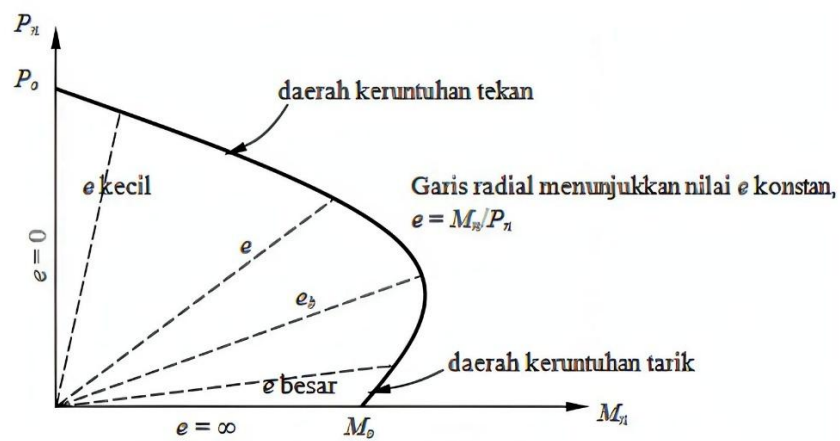
2.6.4.3 Kekuatan Aksial Tekan dan Momen Lentur

Kekuatan aksial ini merupakan suatu perilaku kolom ketika memikul aksial tekan yang bersamaan juga memikul momen lentur. Ketika beban aksial tekan (P) dan momen (M), maka dapat diekivalenkan dengan beban aksial tekan yang bekerja pada beban eksentrisitas (e). Pada gambar ... berikut adalah ilustrasinya.



Gambar 2.13 Ilustrai Interaksi P-M Elemen Kolom

Hubungan interaksi dari gaya aksial tekan (P) dan momen (M) digambarkan dalam sebuah kurva yang dikenal dengan diagram interaksi antara P dan M adalah sebagai berikut :



Gambar 2.14 Diagram Interaksi P-M Elemen Kolom

Persamaan yang dapat dihitung dari hubungan aksial tekan dan momen lentur adalah sebagai berikut :

- Persamaan untuk menghitung nilai tekan aksial pada regangan berimbang,

$$P_b = 0,85f_c'\beta_1c_b b + A'_s(f_y - 0,85f_c') - A_s f_y \quad (2.134)$$

- Persamaan akibat eksentrisitas,

$$Mb = Pb.eb = Cc\left(d - \frac{a}{2} - d\right) + Cs(d - d' - d'') + Td'' \quad (2.135)$$

Penampang kolom yang tertekan mempunyai faktor reduksi $\phi = 0,65$ (sengkan persegi) dan $\phi = 0,75$ (sengkan sepiral). Kemudian pada daerah transisi mempunyai faktor reduksi $0,65 - 0,9$ (sengkan persegi) dan $0,75 - 0,9$ (sengkan sepiral). Sedangkan untuk penampang yang terkendali tarik mempunyai faktor reduksi $\phi = 0,9$.

2.6.4.4 Desain Geser Kolom

Gaya geser dapat ditentukan dengan mengambil nilai gaya geser yang paling kecil dari persamaan berikut ini,

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \gamma \sqrt{f'c b_w d} \quad (2.136)$$

$$V_c = \left[0,16 \gamma \sqrt{f'c} + 17 p_w \frac{V_u d}{M_u - N_u \frac{(4h - d)}{8}} \right] b_w d \quad (2.137)$$

$$V_c = 0,29 \gamma \sqrt{f'c b_w d} \sqrt{1 + \frac{0,29 N_u}{A_g}} \quad (2.138)$$

Kebutuhan tulangan geser pada kolom dipakai persamaan berikut,

$$V_s \geq \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (2.139)$$

Keterangan :

N_u, V_u, M_u = Gaya aksial, gaya geser, dan momen terfaktor

d = $0,8h$

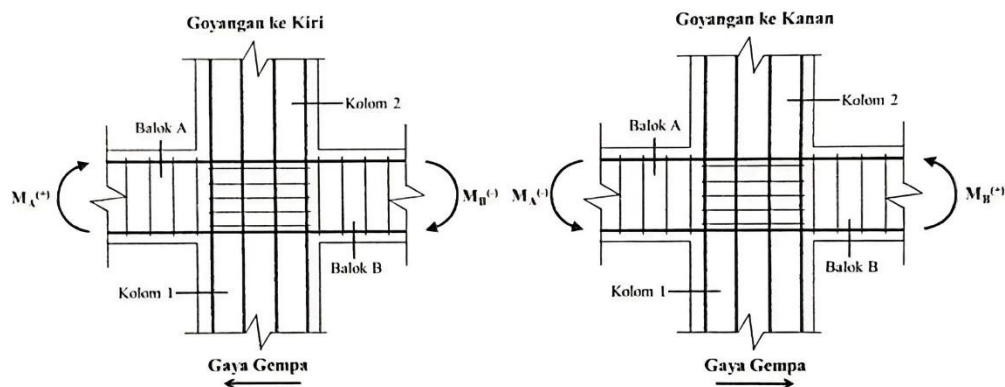
2.6.5 Hubungan Balok dan Kolom Non-Prategang

Pertemuan antara balok dan kolom merupakan elemen struktur monolit yang biasa disebut sebagai *joint*. Gaya-gaya yang bekerja pada sambungan terdiri

dari gaya tarik tulangan, nilai momen akibat balok, dan gaya geser di ujung kolom maupun bagian tengah *joint*.

2.6.5.1 Kapasitas Balok pada HBK

Kebutuhan tulangan geser pada HBK akan didapatkan dari hasil nilai terbesar yang diperoleh dua gaya geser ultimate arah x (V_{ux}) dan arah y (V_{uy}). Ilustrasi dari gaya geser pada HBK dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Hubungan Kolom dan Balok

Ilustrasi di atas menggambarkan HBK bergerak ke arah kiri dan kanan yang akan memperoleh nilai kumulatif. Di mana nilai tersebut akan digunakan untuk menghitung gaya geser HBK yaitu dengan persamaan berikut :

$$V_u = \frac{M_u}{l_u} \quad (2.140)$$

$$M_u = \frac{\sum M_{nb}}{2} \quad (2.141)$$

Keterangan :

M_u = Momen ujung kolom

V_u = Nilai geser yang berasal dari balok

l_u = Tinggi bersih kolom

Selain itu, nilai gaya geser ultimate pada tengah HBK dapat dihitung melalui interaksi gaya yang bekerja pada *joint*.

2.6.5.2 Interaksi Gaya pada Hubungan Balok dan Kolom (HBK)

Hubungan balok dan kolom membuat sambungan atau *joint* bersifat jepit dan besarnya momen lentur yang ditransfer dari balok ke kolom tergantung banyaknya tulangan yang terpasang pada balok (Lesmana, 2020). Mekanisme gaya dan momen yang bekerja pada tengah HBK, menyebabkan interaksi gaya dan terdapat geser retak pada *joint*. Gaya geser inilah yang disebut gaya geser HBK yang dihitung menggunakan persamaan (2.142).

$$V_u = T_A + T_B - V_{u-\text{kolom}} \quad (2.143)$$

Nilai gaya geser (V_u) dari persamaan di atas, harus memenuhi syarat sebagaimana yang tercantum dalam SNI 2847-2019, Pasal 18.8.4.1 yang dicantumkan dalam Tabel 2.11 berikut.

Tabel 2.12 Syarat Nilai Gaya Geser Hubungan Kolom dan Balok

Kondisi HBK	$V_{u,\text{izin}}$
<i>Joint</i> terkekang oleh balok pada keempat sisinya	$V_{\text{izin}} = 1,7\sqrt{f'_c} \cdot A_j$
<i>Joint</i> terkekang oleh balok pada tiga sisi atau dua sisi berlawanan	$V_{\text{izin}} = 1,2\sqrt{f'_c} \cdot A_j$
Kasus lainnya	$V_{\text{izin}} = 1,0\sqrt{f'_c} \cdot A_j$

Kemudian pada area tengah HBK yang terjadi gaya geser, akan ditambahkan tulangan geser (A_{sh}) seperti pada Gambar 2.1. Hal tersebut berfungsi untuk mengantisipasi retak akibat gaya geser yang terjadi di tengah HBK.

2.6.6 Dinding Geser (*Shear Wall*)

2.6.6.1 Preliminary Design Shear Wall

Perencanaan dinding geser (*Shear Wall*) perlu memperhatikan ketebalan minimum yang sudah diatur dalam SNI 2847-2019, Tabel 11.3.1.1. Pasal ini mengatur tentang ketebalan minimum ($h_{\min}$) yang diambil nilai terbesar dari persamaan berikut :

$$h_{min} = \frac{H_{lantai}}{25} \quad (2.144)$$

$$h_{min} = \frac{l_w}{25} \quad (2.145)$$

$$h_{min} = 100 \text{ mm} \quad (2.146)$$

2.6.6.2 Kuat Geser Beton (Vc)

Kuat geser beton pada dinding geser sudah diatur dalam SNI 2847-2019, Pasal 11.5.4.6. Hasil dari perhitungan, diambil nilai kuat geser yang paling kecil dari persamaan yang terdapat pada Tabel 2.11. Terdapat dua metode perhitungan dalam hal ini, yaitu perhitungan sederhana dan detail. Pada penelitian ini akan terfokuskan pada perhitungan sederhana.

Tabel 2.13 Kuat Geser Beton

Beban Aksial	Vc	
Tekan	-	$0,17\lambda\sqrt{f'c} \cdot h \cdot d \quad (a)$
Tarik	Max	$0,17 \left(1 + \frac{0,29N_u}{A_g} \right) \lambda\sqrt{f'c} \cdot h \cdot d \quad (b)$
		$0 \quad (c)$

Keterangan :

h = Ketebalan dinding geser

λ = 1

d = $0,8l_w$ (tinggi efektif penampang dinding)

Kemudian untuk nilai V_u dan M_u dapat diambil sejarak l_w dari dasar dinding geser.

2.6.6.3 Tulangan Longitudinal

Tulangan ini berfungsi untuk menahan beban kombinasi momen lentur dan gaya aksial tekan pada dinding geser. Berikut adalah tahapan perencanaan tulangan longitudinal.

2.6.6.3.1 Rasio tulangan

Berdasarkan SNI 2847-2019, Pasal 18.10.2, menyatakan bahwa rasio tulangan longitudinal dipengaruhi oleh gaya geser (V_u) yang dapat dihitung dengan persamaan (2.147).

$$V_u > 0,083A_{cv}\lambda\sqrt{f'c} \quad \text{maka,} \quad \rho_l = \frac{A_{sv}}{A_{cv}} \geq 0,0025 \quad (2.148)$$

Syarat rumus di atas, apabila V_u tidak memenuhi persamaan (2.149), maka ρ_l diperbolehkan lebih kecil dari 0,0025. kemudian Berdasarkan SNI 2847-2019, Pasal 11.7.4.1, apabila tulangan longitudinal diperlukan untuk kekuatan aksial (ρ_l) $> 1\%$ maka tulangan longitudinal harus menumpu dengan tulangan sengkang ikat pada setiap perpotongan tulangan transversal.

2.6.6.3.2 Gaya dan Momen

Berdasarkan SNI 2847-2019, Pasal 11.4.1.3, gaya aksial tekan (P_u), momen sebidang (M_y), dan momen tak sebidang (M_x) menjadi gaya dan momen yang digunakan untuk mendesain tulangan longitudinal.

2.6.6.3.3 Spasi Tulangan

Berdasarkan SNI 2847-2019, Pasal 25.2.3, mengenai spasi tulangan minimum tidak boleh lebih kecil dari 40 mm, $1,5d_b$ dan $4/3(d_{agg})$. Kemudian diatur dalam SNI 2847-2019, Pasal 18.10.2.1, mengenai spasi tulangan maksimum tidak boleh lebih besar dari 450 mm.

2.6.6.3.4 Jumlah Tulangan Longitudinal

Berdasarkan SNI 2847-2019, Pasal 18.10.2.2, untuk menentukan jumlah lapisan tulangan yang akan digunakan pada *shear wall* dapat mengikuti persamaan (2.150). Apabila syarat pada persamaan tersebut terpenuhi, maka tulangan longitudinal maupun transversal akan dipasang dua lapis.

$$V_u > 0,083A_{cv}\lambda\sqrt{f'c} \quad \text{atau,} \quad \frac{h_w}{l_w} \geq 2 \quad (2.151)$$

2.6.6.4 Tulangan Transversal

Tulangan transversal merupakan tulangan yang digunakan untuk menahan gaya geser yang terjadi pada *shear wall* dengan rasio yang sama dengan tulangan longitudinal. Dalam merencanakan tulangan ini memerlukan tahapan perencanaan lainnya, yaitu sebagai berikut :

2.6.6.4.1 Luasan Tulangan Transversal

Luasan pada tulangan transversal (ρ_t) akan dihitung dengan metode *trial and error* dengan asumsi rasio tulangan transversal sama dengan rasio tulangan minimumnya ($\rho_t = \rho_{t,min}$). Berikut adalah persamaan untuk menghitung luasan tulangan dua lapis per meter panjang.

$$A_{s,H} = \rho_t \cdot h \cdot 1000 \text{ mm}^2 \quad (2.152)$$

2.6.6.4.2 Spasi Tulangan

Berdasarkan SNI 2847-2019, Pasal 18.10.2.1, untuk ketentuan spasi tulangan tulangan transversal yaitu $s \leq 450 \text{ mm}$ dan $s \leq 25 \text{ mm}$ atau d_b .

2.6.6.4.3 Luasan Aktual Satu Lapis

Luasan actual pada tlangan transversal ini dapat dihitung dengan persamaan berikut,

$$A_{s,H} = \left(\frac{1000}{s} \right) \frac{1}{4} \pi D^2 \quad (2.153)$$

Akan tetapi, luasan tulangan actual diharuskan melebihi nilai dari luas tulangan teori, yang dituliskan dengan persamaan berikut,

$$A_{s,H(Pakai)} = A_{s,H(Teori)} \quad (2.154)$$

2.6.6.4.4 Kuat Geser Nominal *Shear Wall*

Kuat geser nominal merupakan gabungan kontribusi dari beton (V_c) dan baja tulangan (V_s). Oleh karena itu, kuat geser nominal tidak boleh lebih kecil dari gaya geser ultimate (V_u).

$$V_s = \rho_t \cdot f_y \cdot h \cdot d \quad (2.155)$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.156)$$

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2.157)$$

$$V_n \leq A_{cv} \left(\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y \right) \quad (2.158)$$

Nilai dari kuat geser nominal pada persamaan (2.159) harus memiliki nilai yang lebih besar dari persamaan (2.160). Kemudian nilai α_c bernilai 0,25 untuk $h_w/l_w \leq 1,5$; 0,17 untuk $h_w/l_w \geq 2$.

2.6.6.5 Desain Elemen Batas pada *Shear Wall (Boundary Element)*

Elemen batas merupakan salah satu elemen dalam *shear wall* yang terletak pada ujung penampang. Elemen ini berfungsi untuk menahan moemen yang besar yang dapat mengakibatkan *buckling*.

2.6.6.5.1 Dimensi Elemen Batas

Mengacu pada SNI 2847-2019; Pasal 18.10.6.4(a), untuk merencanakan dimensi panjang minimal (I_{BE}) diambil dari nilai terbesar persamaan berikut.

$$I_{BE} = c - 0,11l_w \quad (2.161)$$

$$I_{BE} = \frac{c}{2} \quad (2.162)$$

Kemudian, untuk dimensi lebar diambil dari SNI 2847-2019, Pasal 18.10.6.4(b) dan 18.10.6.4(c). Apabila pada Pasal (b) tidak memenuhi $b_{BE} \geq 300$ dengan syarat,

$$\frac{h_w}{l_w} > 2, \quad \text{atau} \quad \frac{c}{l_w} > \frac{3}{8} \quad (2.163)$$

Maka, digunakan persamaan (2.164) yang tercantum pada pasal (c) yaitu sebagai berikut.

$$b_{BE} = \frac{h_u}{16} \quad (2.165)$$

2.6.6.5.2 Tulangan Longitudinal

Berdasarkan SNI 2847-2019; Pasal 10.6.1.1, untuk menentukan luasan tulangan longitudinal pada elemen batas dengan A_g dari luasan elemen batas dapat dicari dengan persamaan berikut;

$$0,01A_g \leq \rho_l < 0,08A_g \quad (2.166)$$

2.6.6.5.3 Tulangan Transversal

Berdasarkan SNI 2847-2019; Pasal 18.10.6.4(e), apabila jarak terjauh dari antar tulangan longitudinal yang terikat oleh sengkang (h_x) tidak lebih besar dari persamaan (2.167) dan (2.168). Maka untuk spasi maksimal tulangan transversal diambil dari nilai terkecil dari persamaan (2.169) dan (2.170).

$$h_x \leq 350 \text{ mm} \quad (2.171)$$

$$h_x \leq \frac{2}{3} b_{BE} \quad (2.172)$$

$$s \leq \frac{1}{3} b_{BE} \quad (2.173)$$

$$s \leq \frac{1}{3} I_{BE} \quad (2.174)$$

Apabila masih tidak memenuhi, maka digunakan persamaan di bawah ini dan tidak melebihi nilai terkecilnya.

$$s = \frac{1}{4} b_{BE} \quad (2.175)$$

$$s = \frac{1}{4} b_{BE} \quad (2.176)$$

$$s = 6d_b \quad (2.177)$$

$$100 \leq \left(s = s_0 = 100 + \frac{350 - h_x}{3} \right) < 150 \text{ mm} \quad (2.178)$$

2.6.7 Tangga

2.6.7.1 Preliminary Design Tangga

Model tangga yang akan digunakan dalam perencanaan ini adalah tangga tipe U, sebagaimana yang umum dipakai pada gedung bertingkat banyak.

2.6.7.1.1 Lebar dan Tinggi Injakan

Dimensi lebar (a) dan tinggi injakan (s) harus memperhatikan ukuran langkah kaki manusia arah datar, keamanan, dan kenyamanan (kholiq, 2015). Sebagaimana tertulis dalam persamaan (2.179) - (2.180)

1. Kontrol ukuran langkah (2.181)

$$2s + a = 60 \text{ s.d } 65 \text{ cm}$$

2. Kontrol keamanan (2.182)

$$s + a = \pm 45 \text{ cm}$$

3. Kontrol kenyamanan (2.183)

$$a - s = \pm 12 \text{ cm}$$

Ukuran yang biasa dipakai pada gedung bertingkat banyak untuk lebar anak tangga berkisar antara 22,5 – 30 cm dan tingginya 14 – 20 cm.

2.6.7.1.2 Jumlah Anak Tangga

Jumlah anak tangga dipengaruhi oleh ketinggian antar lantai, lebar injakan, tinggi anak tangga dan tinggi bordes (jika ada). Menentukan jumlah anak tangga dapat digunakan persamaan (2.184) dengan sistem pembulatan nilai.

$$n_s = \frac{h}{s} \quad (2.185)$$

$$n_a = s - 1 \quad (2.186)$$

Keterangan :

n_s = Jumlah tinggi injakan (S)

n_a = Jumlah lebar injakan (a)

h = ketinggian tangga (tinggi bordes atau tinggi antar lantai)

2.6.7.1.3 Tebal Pelat Tangga dan Pelat Bordes

Tebal pelat tangga atau bordes minimum mengacu pada SNI 2847-2019, sebagaimana sama seperti menentukan tebal minimum pelat satu arah. Dimensi tangga lainnya dapat dihitung berdasarkan persamaan yang dicantumkan berikut :

$$P_1 = n_t \cdot a \quad (2.187)$$

$$L_b = P - P_1 \quad (2.188)$$

$$P_m = \sqrt{P_1^2 + h_b^2} \quad (2.189)$$

$$I = P_m - L_b \quad (2.190)$$

Keterangan :

P = Panjang area rencana untuk tangga

P_1 = Panjang tangga arah horizontal

L_b = Lebar bordes

h_b = Tinggi bordes

P_m = Panjang pelat dengan kemiringan

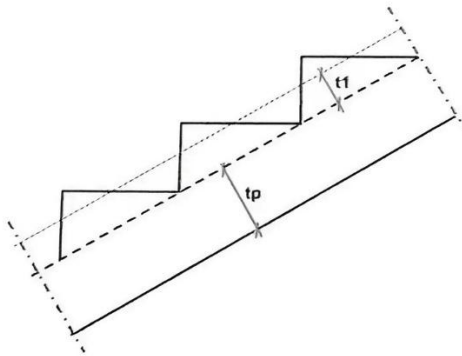
I = Panjang pelat

N_t = Jumlah anak tangga

Kemudian untuk pelat tangga dengan kemiringan ada syarat tertentu untuk kemiringan tangga (α) biasanya berkisar pada 25° - 42° (kholiq, 2015).

2.6.7.2 Pembebanan pada Tangga

Beban-beban yang bekerja pada tangga akan digunakan sesuai SNI 1727-2020 yaitu pada Lampiran C untuk beban mati tambahan dan Tabel 4.3-1 untuk beban hidup yang bekerja. Sedangkan untuk beban mati sendiri akan dihitung menggunakan *software* SAP2000. Di mana pemodelan tangga akan dimodelkan sebagai beban merata sebagaimana ilustrasi berikut :



Gambar 2.16 Potongan Pemodelan Tangga

$$t_1 = 0,5 \cdot s \cdot \cos \alpha \quad (2.191)$$

$$q_u = t_1 \cdot L \quad (2.192)$$

Keterangan :

t_1 = Tebal ekuivalen tangga

q_u = Beban merata anak tangga

L = Lebar satu jalur anak tangga

α = Kemiringan tangga

2.6.7.3 Sistem Penulangan Tangga

Penulangan tangga menggunakan metode yang diaplikasikan pada sistem penulangan pelat satu arah. Baik dalam menentukan tulangan tumpuan maupun lapangan yang direncanakan berdasarkan momen terbesar.

2.7 Sistem Elevator (Lift)

Analisis dan perhitungan perencanaan lift akan mengacu pada SNI 03-6573-2001. Lift direncanakan dengan kapasitas yang dapat meningkatkan kualitas pelayanan pada gedung sesuai dengan syarat yang telah ditentukan.

2.8 Pembebanan

2.8.1 Tahap Pembebanan

Tahap pembebanan pada beton prategang merupakan tahapan elemen struktur diberi beban, baik beban internal maupun beban eksternal saat operasional. Berikut adalah tahapan pembebanan yang terjadi pada struktur prategang (Ramadhani and Sipil 2017) :

2.8.1.1 Tahap Awal

Pembebanan tahap awal merupakan pembebanan yang dilakukan saat struktur belum dikenakan beban eksternal atau beban layan. Berikut adalah beban tahap awal yang perlu diperhatikan saat pelaksanaan terdiri dari:

1. Sebelum diberi gaya prategang
Beton bermutu tinggi masih mempunyai titik lemah ketika gaya prategang belum diberikan. Hal ini menjadikan beban awal sebelum diberi gaya prategang pada beton.
2. Saat diberi gaya prategang
Saat diberi gaya prategang, tendon mengalami tegangan yang cukup besar dan ini menjadi beban awal pada tendon akibat gaya prategang yang terjadi.
3. Saat peralihan gaya prategang
Saat peralihan gaya prategang, beton mengalami beban internal yang menjadi beban awal untuk menyeimbangkan beban yang akan bekerja pada beton.

2.8.1.2 Tahap Akhir

Tahap pembebanan akhir merupakan tahap dimana pembebanan yang sesungguhnya atau beban layan terjadi pada struktur. Berikut adalah beban akhir yang akan terpadai pada struktur:

1. Beban yang bekerja tetap

Beban tetap merupakan beban yang terjadi pada struktur dengan elemen yang menetap atau bisa kita sebut beban mati dan beban berat sendiri. Beban ini akan berpengaruh terhadap lendutan awal yang membuat lendutan akibat beban mati harus dibatasi dan diperhitungkan.

2. Beban kerja

Beban kerja merupakan beban layan ketika bangunan dioperasikan. Semua beban yang bekerja pada elemen struktur menjadi beban kerja yang harus dipikul oleh struktur termasuk beton prategangnya sendiri.

3. Beban retak

Beban retak merupakan kondisi di mana struktur beton mengalami keretakan yang seringkali mengubah tegangan retak dan tegangan geser.

4. Beban batas

Beban batas merupakan beban maksimum yang dapat dipikul oleh struktur (*ultimate strength*). Hal ini membuat struktur harus memiliki kekuatan batas yang telah direrncanakan sebelumnya.

2.8.2 Perencanaan Pembebanan

2.8.2.1 Dead Load (DL)

Beban mati merupakan berat sendiri bangunan yang ditujukan pada elemen struktur pada gedung, seperti kolom, balok, pelat dan *shearwall*. Beban mati ini akan dihitung secara otomatis oleh sistem SAP2000 dengan mendefinisikan *Load Pattern* menjadi 1 (satu).

2.8.2.2 Superimposed Dead Load (SDL)

Beban mati tambahan merupakan berat sendiri bangunan yang tidak dimodelkan dalam proses pemodelan pada SAP2000. Beban ini meliputi beban non-struktural seperti plafond, keramik, dinding, spesi dan elemen arsitektural lainnya. Beban ini akan diinput secara manual pada analisis pembebanan di SAP2000.

2.8.2.3 Live Load (LL)

Beban hidup merupakan beban yang dihasilkan dari aktivitas pengguna dan penghuni gedung yang dapat mempengaruhi struktur bangunan. Beban hidup ini tidak meliputi beban konstruksi dan beban lainnya. Penelitian ini akan menggunakan beban hidup yang mengacu pada SNI 1727-2020: Tabel 4.3-1.

2.8.2.4 Earthquake Load (E)

Beban gempa akan didesain sesuai dengan lokasi gedung dibangun dan mengacu pada SNI 1726-2019 yang membahas tentang perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung dan non-gedung.

2.8.3 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SNI 1727-2020, bangunan gedung dan non-gedung harus didesain berdasarkan Pasal 2.3 tentang kombinasi beban untuk desain kekuatan dan Pasal 2.4 tentang kombinasi beban untuk tegangan izin.

2.8.3.1 Kombinasi Beban untuk Desain Kekuatan

Kekuatan desain harus bisa mengimbangi atau melebihi efek beban yang bekerja pada struktur. Adapun kombinasi beban dasar untuk desain kekuatan adalah sebagai berikut :

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
5. $0,9D + 1,0W$

Apabila kombinaasi pembebanan dipengaruhi oleh efek dan gaya regangan sendiri, maka efek kumulatif dari gaya regangan sendiri dan efeknya yang timbul dari kontraksi atau ekspansi (T) nilainya tidak boleh kurang dari 1.0. Sedangkan apabila kombinasi dipengaruhi oleh beban seismic, maka persamaan kombinasinya adalah sebagai berikut :

6. $1,2D + E_v + E_h + L$
7. $0,9D - E_v + E_h$

Berdasarkan SNI 1726-2019 pada Pasal 4.2.2.3, persamaan dari pengaruh beban seismik horizontal dan dan vertikal adalah sebagai berikut :

$$E_h = \rho \cdot Q_E$$

$$E_v = 0,2 \cdot S_{DS} \cdot D$$

Keterangan :

E_h = Pengaruh beban seismik horizontal

E_v = Pengaruh beban seismik vertikal

P = Faktor redudansi

Q_E = Pengaruh gaya seismik horizontal

S_{DS} = Percepatan respon spectra priode pendek

D = Pengaruh beban waktu

2.8.3.2 Kombinasi Beban untuk Tegangan Izin

Kombinasi dasar untuk desain tegangan izin tercantum dalam standar SNI 1727-2020 harus diperhitungkan bekerja dalam kombinasi-kombinasi berikut :

1. D
2. $D + L$
3. $D + (L_r \text{ atau } R)$
4. $D + 0,75L + 0,75(L_r \text{ atau } R)$
5. $D + 0,6W$
6. $D + 0,75(0,6W) + 0,75L + 0,75(L_r \text{ atau } R)$
7. $0,6D + 0,6W$

Kombinasi dasar yang apabila dipengaruhi oleh efek beban seismik, maka persamaan kombinasinya adalah sebagai berikut :

8. $D + 0,7E_v + 0,7E_h$
9. $D + 0,525E_v + 0,525E_h + 0,75L$
10. $0,6D - 0,7E_v + 0,7E_h$

Apabila efek beban yang dihasilkan lebih atau beban seismik kuat, maka kombinasi beban seismik untuk struktur yang tidak memikul beban banjir dan beban es adalah sebagai berikut :

8. $D + 0,7E_v + 0,7E_{mh}$
9. $D + 0,525E_v + 0,525E_{mh} + 0,75L$
10. $0,6D - 0,7E_v + 0,7E_{mh}$

Dimana :

$$E_{mh} = \Omega_o \cdot Q_E \text{ dan } E_v = 0,2 \cdot S_{DS} \cdot D$$

2.9 Beban Gempa

Beban gempa desain mengacu pada peraturan SNI 1726-2019 pada Pasal 6.10.2.1, di mana dalam kurun waktu 50 tahun peluang terjadinya gempa hanya 2 %. Kemudian dalam menentukan kategori risiko terdapat pada Pasal 4.1.2, dengan kategori risiko akan tergantung pada fungsi bangunan.

2.9.1 Faktor Keutamaan Gempa

Nilai faktor keutamaan gempa tergantung pada kategori risiko bangunan. Sebagaimana yang tertera pada SNI 1726-2019 pada Pasal 4.1.2 yang dijelaskan sebelumnya. Di mana pengaruh gempa rencana harus dikalikan dengan faktor keutamaan gempa yang tertera pada tabel berikut.

Tabel 2.14 Faktor Keutamaan Gempa

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

2.9.2 Kelas Situs Tanah

Klasifikasi situs tanah mengacu pada SNI 1726-2019 pada Pasal 5, di mana profil tanah diklasifikasikan pada Tabel 2.14 berikut.

Tabel 2.15 Klasifikasi Situs Tanah

Kelas Situs	v_s (m/det)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SA (Batuan Keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (Batuan)	750 - 1500	N/A	N/A
SC (Tanah Keras)	350 - 750	> 50	> 100
SD (Tanah Sedang)	175 - 350	15 – 50	50 – 100
SE (Tanah Lunak)	< 175	< 15	< 50
SF (Tanah Khusus)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive, tanah tersementasi lemah. - Lempung sangat organic dan / atau gambut (ketebalan $> 3m$) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$). Lapisan lempung lunak / setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa.		

2.9.3 Faktor Koefisien Situs

Mengacu pada SNI 1726-2019, pada Pasal 6.2 membahas tentang penentuan respon spectra percepatan gempa di permukaan tanah. Dalam hal ini dibutuhkan amplifikasi pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Pengaruh klasifikasi situs melibatkan faktor amplifikasi yang diantaranya yaitu getaran periode pendek (F_a), dan getaran periode 1 detik (F_v). Kemudian untuk periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) ditentukan dari hasil kali antara F dan S .

Tabel 2.16 Faktor Koefisien Situs Periode Pendek

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum Dipertimbangkan Risiko-Tertarget Terpetakan pada Periode Pendek, $T=0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s > 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum Dipertimbangkan Risiko-Tertarget Terpetakan pada Periode Pendek, $T=0,2$ detik, S_s					
SB	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SF	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

Tabel 2.17 Faktor Koefisien Situs Periode Panjang

Keas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum Dipertimbangkan Risiko-Tertarget Terpetakan pada Periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 > 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SF	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

2.9.4 Respon Spektra Desain

Respon spectra merupakan nilai percepatan gempa dengan respon paling besar dari sistem kebebasan derajat tunggal (SDOF). Ketentuan dalam menentukan respon spectra adalah mencari parameter percepatan spectra desain dengan periode pendek (S_{DS}) dan perioda 1 detik (S_{D1}) yaitu sebagai berikut.

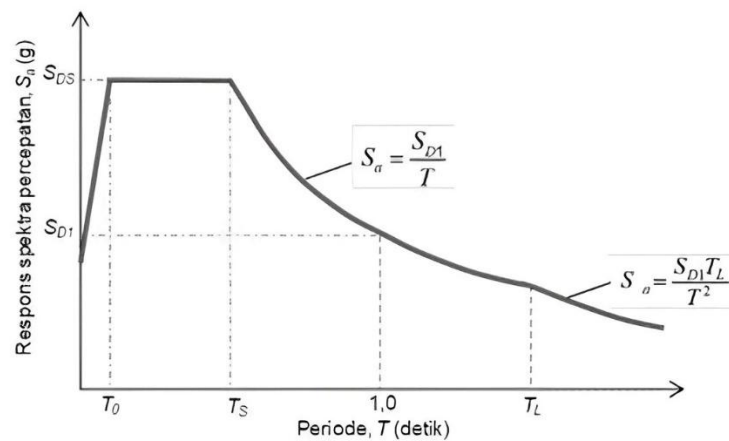
$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.193)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.194)$$

Setiap periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_s , spectrum respons percepatan desai, S_a akan sama dengan S_{DS} . Sedangkan untuk kondisi yang lainnya terdapat dalam Tabel 2.17

Tabel 2.18 Persamaan Respon Spektra Desain

Persamaan Percepatan	Kondisi
$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$	$T_s < T \leq T_L$
$S_a = \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T^2}$	$T > T_L$



Gambar 2.17 Respon Spektra Desain

Keterangan :

- S_a = Percepatan respons spectral desain
- T = Periode getar fundamental struktur
- T_0 = Periode pendek
- T_1 = Periode panjang

2.9.5 Kategori Desain Seismik

Tercantum dalam SNI 1726-2019, Pasal 6.5 bahwa, kategori desain seismik ditentukan berdasarkan kategori risiko bangunan dan respon gerakan tanah akibat gempa. Berikut adalah klasifikasi kategori risiko berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{D1} .

Tabel 2.19 Kategori Desain Seismik S_{DS}

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

Tabel 2.20 Tabel 2.21 Kategori Desain Seismik S_{D1}

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I, II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D
Lokasi dengan nilai $S_{D1} \geq 0,75$ g, maka KDS = E, untuk kategori risiko I,II,II dan KDS = F untuk kategori risiko IV		

2.9.6 Sistem Penahan Gaya Seismik

Berdasarkan SNI 1726-2012 elemen sistem pemikul gaya seismik harus dapat memenuhi persyaratan sesuai Tabel 2.21 berikut ini.

Tabel 2.22 Sistem Penahan Gaya Seismik

Sistem Pemikul Gaya Seismik	R	Ω_0	Cd	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, hn (m)				
				B	C	D	E	F
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2 _{1/2}	4	TB	TB	TB	TB	TB

Sistem Pemikul Gaya Seismik	R	Ω_0	Cd	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, hn (m)				
				B	C	D	E	F
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan								
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2 _{1/2}	5 _{1/2}	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	2 _{1/2}	5 _{1/2}	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang konvensional	6	2 _{1/2}	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2 _{1/2}	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2 _{1/2}	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7 _{1/2}	2 _{1/2}	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2 _{1/2}	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2 _{1/2}	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dindign geser batu bata bertulang khusus	5 _{1/2}	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dindign geser batu bata bertulang menengah	4	3	3 _{1/2}	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2 _{1/2}	5	TB	TB	TB	TB	TB

Sistem Pemikul Gaya Seismik	R	Ω_0	Cd	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, hn (m)				
				B	C	D	E	F
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan								
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2 _{1/2}	6 _{1/2}	TB	TB	TB	TB	TB
TB = Tidak Dibatasi, TI = Tidak Diizinkan								

2.10 Penentuan Konsistensi pada Lapisan Tanah

Penentuan lapisan tanah mengacu pada di mana, klasifikasi lapisan tanah berdasarkan jenis tanah dan konsistensinya ditentukan pada Tabel 2.22 dan Tabel.

Tabel 2.23 Konsistensi Lapisan Tanah

Jenis Tanah	SPT-N (blows/300mm)	Strength (KPa)
Very Soft	≤ 2	0 – 12
Soft	2 - 5	12 – 25
Firm	5 - 10	25 - 50
Stiff	10 - 20	50 - 100
Very Stiff	20 - 40	100 – 200
Hard	> 40	> 200

Tabel 2.24 Tipe Konsistensi Tanah

Description	Relative Density	SPT-N (blows/300mm)		Strength
		Uncorrected Field Value	Uncorrected Value	Friction Angle
Very Loose	$< 15\%$	$N \leq 4$	$(N_0)_{60} \leq 3$	$(\phi) < 20^\circ$
Loose	15% - 35%	$N = 4-10$	$(N_0)_{60} = 3-8$	$(\phi) = 20^\circ-30^\circ$
Med Dense	35% - 65%	$N = 10-30$	$(N_0)_{60} = 8-25$	$(\phi) = 30^\circ-40^\circ$
Dense	65% - 85%	$N = 30-50$	$(N_0)_{60} = 25-42$	$(\phi) = 40^\circ-45^\circ$

<i>Description</i>	<i>Relative Density</i>	<i>SPT-N (blows/300mm)</i>		<i>Strength</i>
		<i>Uncorrected Field Value</i>	<i>Uncorrected Value</i>	<i>Friction Angle</i>
<i>Very Dense</i>	> 85% 100%	N > 50	(N ₀) ₆₀ > 42 (N ₀) ₆₀ = 60	(ϕ) = 45°-50° (ϕ) = 50°

2.11 Perhitungan Parameter Tanah

2.11.1 Berat Isi Tanah Jenuh (γ_{sat})

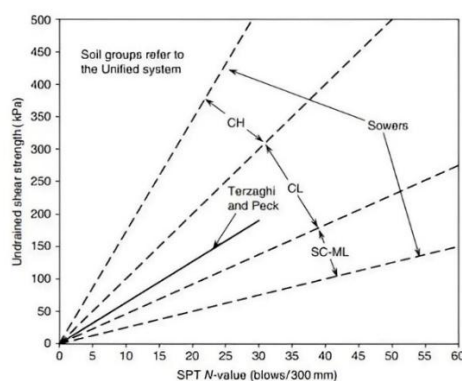
Berdasarkan (Bowles,1977) pendekatan nilai untuk menentukan berat isi tanah jenuh berdasarkan nilai N koreksi terdapat pada Tabel 2.24.

Tabel 2.25 Berat Isi Tanah

Konsistensi	Sangat Lunak	Lunak	Sedang	Kenyak	Sangat Kenyak	Keras
q_u (kPa)	0-24	24-28	48-96	96-192	192-384	> 384
N_{SPT}	0-2	2-4	10-30	30-50	> 50	> 32
γ_{sat}	15,8-18,8	15,8-18,8	17,3-20,4	18,8-22	18,8-22	18,8-22

2.11.2 Kohesi Tanah (C_u)

Nilai kohesi tanah dapat ditentukan dengan Gambar 2.2 di mana konsep ini mengacu pada (Terzaghi dan Peck, 1967).



Gambar 2.18 Nilai C_u Berdasarkan N-SPT

2.11.3 Modulus Elastisitas Tanah (Eu)

Menentukan parameter Eu dapat diambil berdasarkan nilai yang tertera pada Tabel 2.25 berikut ini.

Tabel 2.26 Parameter Modulus Elastisitas

Clay	Eu (MPa)
<i>Very Soft Clay</i>	0,5-5
<i>Soft Clay</i>	5-20
<i>Medium Clay</i>	20-50
<i>Stif Clay, Silty Clay</i>	50-100
<i>Sandy Clay</i>	25-200
<i>Clay Shale</i>	100-200

2.11.4 Poisson's Ratio (v)

Parameter V dapat diambil berdasarkan nilai yang tertera pada Tabel 2.26 berikut ini.

Tabel 2.27 *Poisson's Ratio*

Material	<i>Poisson's Ratio (v)</i>
<i>Saturated Clays (undrained)</i>	0,5
<i>Saturated Clays (drained)</i>	0,2-0,4
<i>Dense Sand</i>	0,3-0,4
<i>Loose Sand</i>	0,1-0,3
<i>Loose</i>	0,1-0,3
<i>Ice</i>	0,35
<i>Alumunium</i>	0,36
<i>Steel</i>	0,29
<i>Concrete</i>	0,15