

BAB II

MATERIAL DAN PEMBEBANAN

BETON PRATEGANG

II.1 Material Beton Prategang

II.1.1 Beton Berkekuatan Tinggi

Beton berkekuatan tinggi merupakan unsur utama dari semua batang beton prategang. Pemakaian beton dengan mutu yang lebih tinggi merupakan keharusan pada beton prategang karena beberapa alasan, yaitu:

1. Untuk menghemat biaya, pengangkutan direncanakan berdasarkan beton mutu tinggi. Beton yang lemah membutuhkan pengakuan khusus, kalau tidak akan runtuh pada saat diberi gaya prategang. Keruntuhan ini mungkin terjadi pada bantalan (*bearing*), pada rekatan antara baja dan beton, atau pada tarikan dekat angkur.
2. Beton mutu-tinggi memberikan ketahanan yang tinggi terhadap tarikan dan geser, seperti juga pada rekatan dan tumpuan dan merupakan tuntunan struktur beton prategang yang bagian-bagiannya mengalami tegangan yang lebih tinggi daripada beton bertulang biasa.
3. Beton mutu-tinggi tidak mudah mengalami retak akibat susut pada beton yang sering terjadi pada beton mutu-rendah sebelum diprategangkan.

4. Beton mutu-tinggi mempunyai modulus elastisitas yang lebih tinggi dan regangan akibat rangkai yang lebih kecil, yang mengakibatkan kehilangan gaya prategang lebih kecil pada baja.

Kuat tekan beton prategang yang disyaratkan, berdasarkan kekuatan silinder beton (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) umur 28 hari berkisar 30 - 40 MPa. Mutu beton yang digunakan dalam analisis ini sebesar $f'_c = 35 \text{ MPa}$ (350 Kg/cm^2).

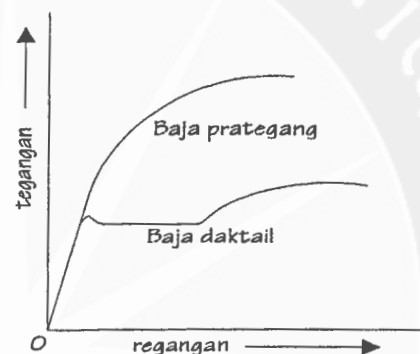
Modulus elastisitas beton, sesuai dengan ketentuan SKSNI T15-1991-03 pasal 3.1.5 ayat 3, yaitu ditentukan dengan pengujian atau dipasok oleh pabrik untuk modulus elastisitas beton prategang, maka berdasarkan tes uji desak beton diperoleh modulus elastisitas beton (E_c) = $2,98 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ ($= 2,98 \times 10^4 \text{ MPa}$).

II.1.2 Baja Bermutu Tinggi

Baja mutu-tinggi merupakan bahan umum untuk menghasilkan gaya prategang dan mensuplai gaya tarik pada beton prategang. Tujuan pemakaian baja berkekuatan tinggi pada prategang adalah:

1. Untuk mengimbangi kehilangan tegangan yang terjadi disekitar beton, jika dipakai baja lunak akan menyebabkan tegangan kerja pada baja lebih kurang hilang seluruhnya akibat deformasi elastik, yaitu rangkai dan susut beton.
2. Untuk memperoleh tegangan awal, dalam hal ini yaitu tegangan yang tinggi (1862 MPa atau lebih) dari kehilangan tegangan kerja pada baja yang terjadi, sehingga tegangan sisa atau gaya prategang efektif baja masih mempunyai kemampuan untuk meneruskan gaya prategang yang diinginkan.

3. Baja kuat tinggi tidak menunjukkan karakteristik titik luluh pasti seperti pada baja daktail normal untuk penulangan beton biasa (Gambar 2.1) dalam menentukan kuat batas balok. Batang baja biasa yang ditarikkan sampai mencapai kekuatan luluhnya akan hilang seluruh gaya prategang pada saat hilangnya seluruh tegangan karena meluluh. Maka titik luluh baja prategang tidak penting seperti baja daktail biasa.



Gambar 2.1 Perbandingan diagram tegangan regangan (Istimawan Dipohusudo, Struktur Beton Bertulang, 1994)

Jenis baja prategang yang digunakan dalam analisa ini adalah untaian tujuh kawat (*seven wire strand*) dengan spesifikasi dan data material sebagai berikut:

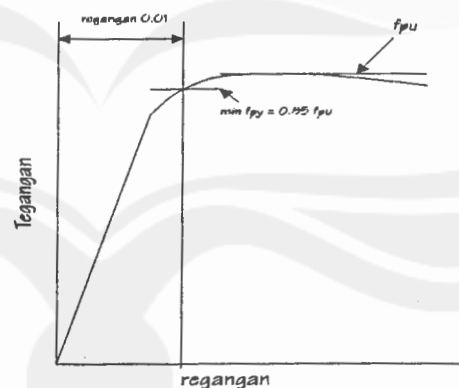
- a. Tipe material : *Uncoated Stress - Relieved Strands* (*strand* dengan 7 kawat tanpa pelapisan)
- b. Spesifikasi : ASTM A - 416 85 *Grade 270*
- c. Diameter *strand* nominal : $\phi \frac{1}{2}$ in (12,7 mm)
- d. Luas tampang nominal : 98,7 mm²
- e. Berat nominal : 0,775 kg/m
- f. Modulus elastisitas (E_{ps}) : $1,97 \times 10^5$ N/mm²
- g. Tegangan putus ultimit : $f_{pu} = 1862$ MPa

- h. Tegangan leleh diambil pada regangan 1%, untuk *stress relieved strands*:

$$f_{py} = 0,85 \cdot f_{pu} = 1583 \text{ MPa}$$

- i. Beban putus : 187,54 KN
 j. Beban minimum pada pemuaian 1% : 156,1 KN
 k. Relaksasi setelah 1000 jam pada 0,7 beban putus : 2,5 %
 l. Koefisien gesek / *friction* (μ) : 0,200
 m. Faktor gelombang / *wobble* (κ) : 0,008 rad/m

Pada Gambar 2.2, menunjukkan kurva tegangan - regangan *strand* 7 kawat dengan diameter 12,7 mm untuk *strands releived* untuk spesifikasi ASTM A 416 -85 grade 270. Titik luluh bajanya (f_y) ditentukan dengan cara perpanjangan (*elongation*) 1 % regangannya.



Gambar 2.2 Diagram tegangan-regangan untuk baja prategang (Edward G. Nawy, *Prestressed Concrete a Fundamental*, 1984)

II.1.3 Tulangan Non-prategang

Tulangan biasa (tulangan non-prategang) digunakan bersama dengan baja prategang akan membentuk suatu kombinasi yang efektif, yang satu melengkapi yang lain. Bagi prategang mengimbangi sebagian dari beban, mengurangi lendutan dan

memberikan bagian terbesar dari kekuatan. Sementara baja non-prategang mendistribusikan retak secara merata, meningkatkan kekuatan batas, memperkuat bagian yang tidak terjangkau oleh baja prategang dan memberikan keamanan tambahan untuk kondisi yang tidak terduga.

Tujuan dari pemakaian tulangan non-prategang sebagai berikut:

1. Jika *flens* tekan berada dalam keadaan tertarik pada saat transfer, maka baja non-prategang akan membantu memperkuat *flens* terhadap keruntuhan, yaitu untuk desain berat sendiri balok relatif kecil terhadap beban hidup dan juga sebagai penguat pada ujung balok terhadap tendon yang mengalami tegangan tarik.
2. Penggunaan sengkang membantu peningkatan geser pada balok.

Analisis ini menggunakan dua tipe tulangan non-prategang berdasarkan peraturan SII-0136-80, sebagai berikut:

Tabel 2.1 Daftar tulangan non-prategang

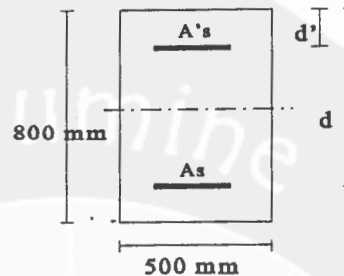
JENIS	SIMBOL	BATAS LULUH (f_y) MPA	KUAT TARIK (f_u) MPA	ϕ mm	FUNGSI	MODULUS ELASTISITAS SK SNI T-15-91
Polos	BJTP 24	208	390	12	Sengkang	2×10^5 MPA
Deform	BJTD 32	278	490	25	Tulangan Utama	

Data-data untuk hitungan tulangan non-prategang yaitu:

- a. $A_s = 5 \times (1/4 \cdot \pi \cdot 25^2) = 2454,369 \text{ mm}^2$
- b. $A'_s \text{ tumpuan} = 5 \times (1/4 \cdot \pi \cdot 25^2) = 2454,369 \text{ mm}^2$
 $A'_s \text{ lapangan} = 5 \times (1/4 \cdot \pi \cdot 25^2) = 2454,369 \text{ mm}^2$
- c. Selimut beton = 40 mm
 ϕ sengkang = 12 mm

$$d' = 40 + \phi 12 + \phi 25/2 = 64,5 \text{ mm}$$

$$d = 800 - 40 - \phi 12 - \phi 25/2 = 735,5 \text{ mm}$$



Gambar 2.3 Tulangan non-prategang

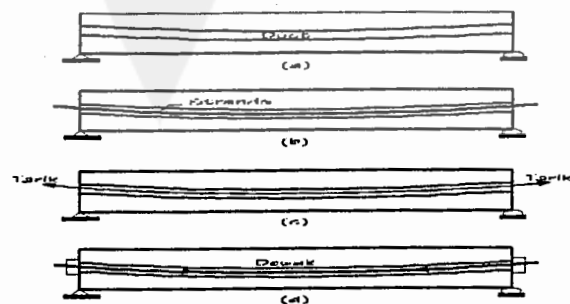
II.2 Sistem Prategang Dan Pengukuran

Sistem prategang yang digunakan adalah penarikan purna (*post-tensioning*), yaitu tendon ditarik setelah betonnya dicetak terlebih dahulu dan mempunyai cukup kekerasan untuk menahan tegangan sesuai dengan yang diinginkan.

Operasi pelaksanaan dalam analisa ini, digunakan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Acuan beton dipasang ditempat yang sesuai dengan rencana letak komponen struktur dengan sekaligus dipasang pipa (*duct*) selongsor lentur yang akan menyelubungi tendon. Pipa selongsong tendon diletakkan di dalam acuan dengan posisi dan ordinatnya diatur untuk membentuk pola tertentu sesuai dengan momen perlawanan yang direncanakan (Gambar 2.4 (a)).
2. Selanjutnya *strand-strand* sebagai elemen-elemen yang ditarik (disebut *tendon*), dimasukkan ke dalam pipa selongsong yang sudah disiapkan di dalam beton. Setelah *strand* tertanam di pipa, angkur dipasang, kemudian beton dicor (Gambar 2.4 (b)).

3. Setelah kekuatan beton yang diperlukan dicapai, tendon ditarik dengan menggunakan dongkrak hidrolik (*hydraulic jack*) di daerah angkur hidup, yaitu angkur yang tidak ikut tertanam pada beton, terletak di ujung beton. Fungsi angkur digabungkan dengan cara-cara mencengkram tendon agar tidak terjadi slip dalam upaya agar beban atau tegangan tarik bertahan pada tendon (Gambar 2.4 (c)). Penarikan tendon tersebut dilakukan pada satu sisi dan dilanjutkan pada sisi beton yang lain dengan *strand-strand* ditarik secara serentak (*simultaneously*). Tekanan akhir yang diberikan pada beton ditentukan sebesar 37,45 MPa untuk satu tendon.
4. Setelah proses penarikan selesai, angkur hidup dikunci dan dilindungi dengan lapisan pelindung dari semen (Gambar 2.4 (d)).
5. Setelah pekerjaan penguncian angkur selesai dan sebelum beban hidup bekerja, ruang kosong di dalam pipa mengelilingi tendon diisi penuh pasta semen dengan cara disuntikkan (*di-grouting*). Keadaan ini disebut *bonded tendon* (*tendon* yang terselubungi), yang berfungsi mempengaruhi efisiensi lekatan antara tendon dengan beton yang akan menjaga faktor keamanan terhadap *failure* dan retak beton.



Gambar 2.4 Sistem pasca penarikan (*post tensioning*)

Analisis hitungan prategang akan menggunakan data-data dan spesifikasi tendon dan angkur VSL, yaitu:

- a. *Tendon* : - 2 *tendon*, masing-masing terdiri dari 8 *strand*,
- *tendon* dalam keadaan *bonded tendon* (di- *grouting*)
- b. $A_{ps} = 16 \text{ strand} \times 98,7 \text{ mm}^2 = 1579,200 \text{ mm}^2$
- c. Pipa selubung / *duct* : - bahan non-galvanizes zinc
- $\phi \text{ duct} = 64 \text{ mm}$
- d. Angkur : - Spesifikasi = Angkur sistem VSL
- Angkur hidup tipe 12 Sc
- Angkur hidup tipe 12 U
- e. Dongkrak hidrolik : - *Multi jack* seri 12 ST-2, kapasitas 100 ton
- f. Profil kabel beton prategang seperti pada Gambar 2.5

Gaya prategang awal (*initial prestressing force* = P_i) yang dikerjakan pada beton ditentukan sebesar 76.54% dari beban putus *strand*, dipakai sebagai gaya *jacking* (P_j):

$$P_j = (187,54 \text{ KN} \times 16 \text{ strand}) \times 76,54\% = 2296,7 \text{ KN} (229,67 \text{ Tonf})$$

Besarnya gaya prategang awal tersebut akan ditinjau terhadap dua cara pengukuran:

- a. Membaca ukuran tekanan (*pressure gauge*) dari dongkrak hidrolik.

SKSNI T15-1991-03 pasal 3.11.18 ayat 1 (b) memberikan ketentuan, gaya prategang dapat ditentukan dengan pengamatan dari hasil kalibrasi dongkrak hidrolik yang memberikan suatu persamaan regresi untuk menentukan besarnya tekanan akhir yang akan diberikan pada beton dengan dikerjakannya gaya

prategang tertentu:

$$Y = (0,32 \cdot X) + 1,16$$

dimana,

Y = besarnya tekanan (*pressure*), MPa

X = gaya *jacking*, Tonf

Dengan memasukkan gaya *jacking* sebesar 229,67 Tonf, diperoleh tekanan sebesar 74,654 MPa (untuk dua tendon). Karena tekanan akhir untuk tendon telah ditentukan sebesar 37,45 MPa (pada satu tendon), maka tekanan berdasarkan P_j = 229,67 Tonf untuk satu tendon:

$$Y = 74,654/2 = 37,327 \text{ MPa} < Y \text{ yang diberikan} = 37,45 \text{ MPa}$$

- b. Berdasarkan peraturan ACI *Code* 318

Gaya prategang awal, P_i , dapat didekatkan terhadap gaya *jacking*, P_j , dengan menggunakan rumus:

$$P_i \approx P_j = 0,70 f_{pu} \times A_{ps} = 0,70 \times 1900 \times 16 \times 98,7 \times 10^{-4} = 210,034 \text{ Tonf}$$

II.3 Tegangan Yang Diizinkan

Tegangan-tegangan izin pada struktur beton prategang ini merupakan batas-batas tegangan pada saat beton dan baja prategang menerima beban kerja. Tegangan izin ini diatur dalam TATA CARA PERHITUNGAN STRUKTUR BETON UNTUK BANGUNAN GEDUNG, SKSNI T-15-1991-03, pasal 3.11.4 untuk beton, 3.11.5 untuk tendon prategang, dan pasal 3.15.3 ayat 2 untuk beton non-prategang, yang diringkas sebagai berikut:

Tegangan izin beton pada komponen lentur

1. *Tegangan pada beton saat setelah transfer gaya prategang* tidak boleh melampaui nilai berikut:

- a. tegangan tekan pada serat terluar $0,60f'_{ci}$
- b. tegangan tarik pada serat terluar kecuali bila diizinkan seperti pada (c) $0,25\sqrt{f'_{ci}}$
- c. serat terluar pada ujung komponen struktur yang didukung perletakkan sederhana mengalami tarik $0,50\sqrt{f'_{ci}}$

Bila tegangan tarik yang dihitung melampaui batasan di atas, harus dipasang tulangan tambahan (non-prategang atau prategang) di daerah tarik untuk memikul gaya tarik total dalam beton yang diasumsikan pada penampang utuh.

2. *Tegangan beton pada tingkat beban kerja* (setelah memperhitungkan semua kehilangan prategang) tidak boleh melampaui nilai berikut:

- a. tegangan tekan pada serat terluar $0,45\sqrt{f'_c}$
- b. tegangan pada serat terluar dalam daerah tarik yang mengalami pra-tekan $0,50\sqrt{f'_c}$
- c. Tegangan pada serat terluar dalam daerah tarik komponen yang mengalami pratekan (kecuali sistem plat dua arah), dimana analisis berdasarkan transformasi penampang retak dan hubungan momen lendutan bi-linier, menunjukkan bahwa lendutan sesaat dan jangka panjang memenuhi persyaratan Pasal 3.2.5 butir 4 dan selimut beton memenuhi Pasal 3.16.7 ayat 3 sub butir 2..... $\sqrt{f'_c}$

Semua persyaratan tegangan izin diatas boleh dilampaui, bila dapat dibuktikan melalui percobaan atau analisis.

Notasi f'_{ci} menunjukkan keadaan awal, dan f'_c menyatakan keadaan beban kerja. Jadi f'_{ci} berhubungan dengan gaya prategang awal dan f'_c berhubungan dengan gaya prategang efektif. Menurut ACI 318 - 89, hubungan keduanya dapat diasumsikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} f'_{ci} &= 0,80 f'_c \\ &= 0,80 \times 35 = 28 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tegangan izin tendon prategang

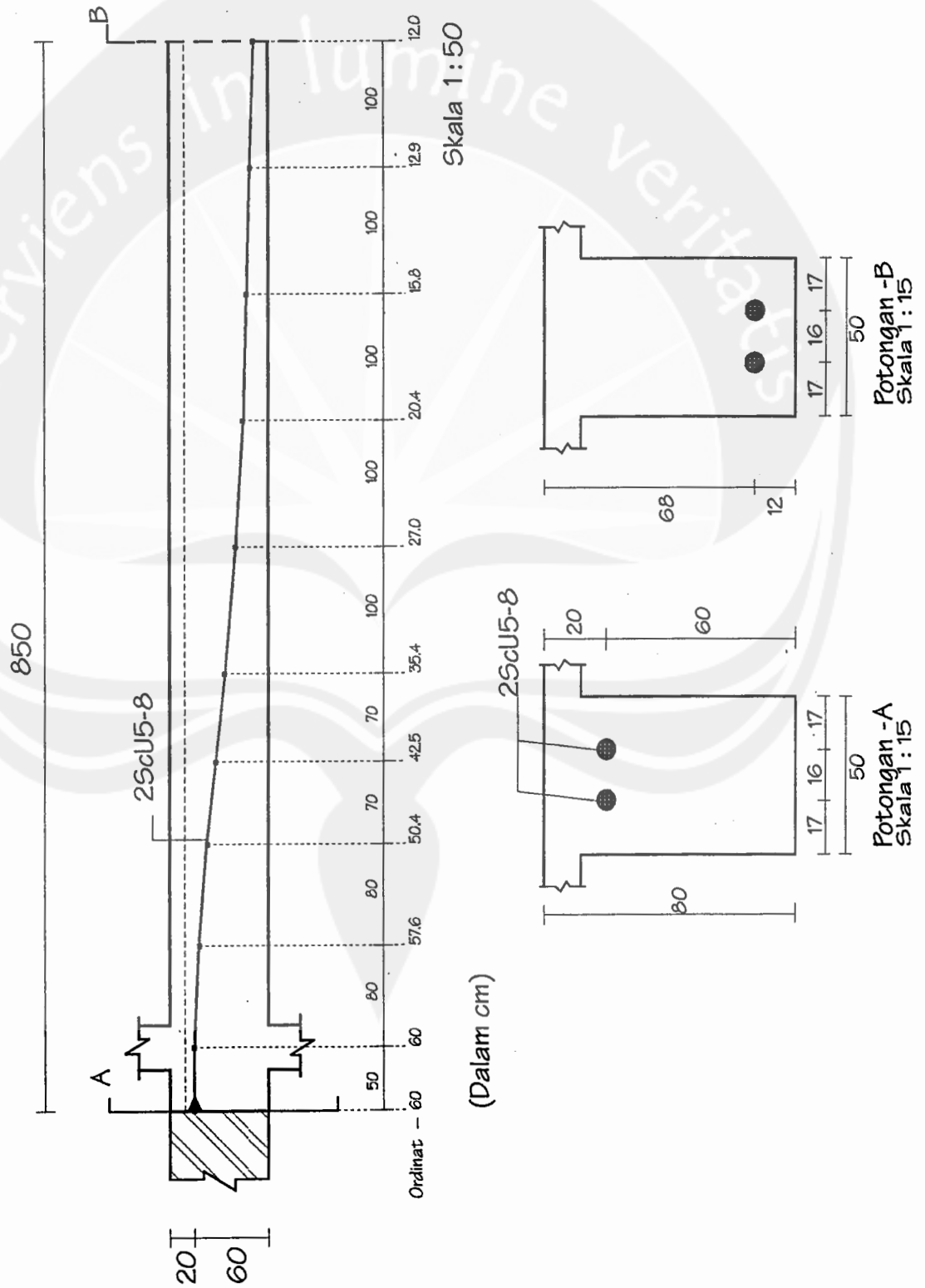
Tegangan tarik pada tendon prategang tidak boleh melampaui nilai berikut:

- a. akibat gaya penjangkaran tendon $0,94f_{py}$
tetapi tidak boleh lebih besar dari $0,85f_{pu}$ atau harga maksimum ditentukan pabrik (pilih yang paling kecil)
- b. segera setelah transfer gaya prategang $0,82f_{py}$
tetapi tidak boleh lebih besar dari $0,74f_{pu}$
- c. tendon pasca-tarik, pada jangkar dan penyambungan tendon, segera setelah penjangkaran tendon $0,70f_{pu}$

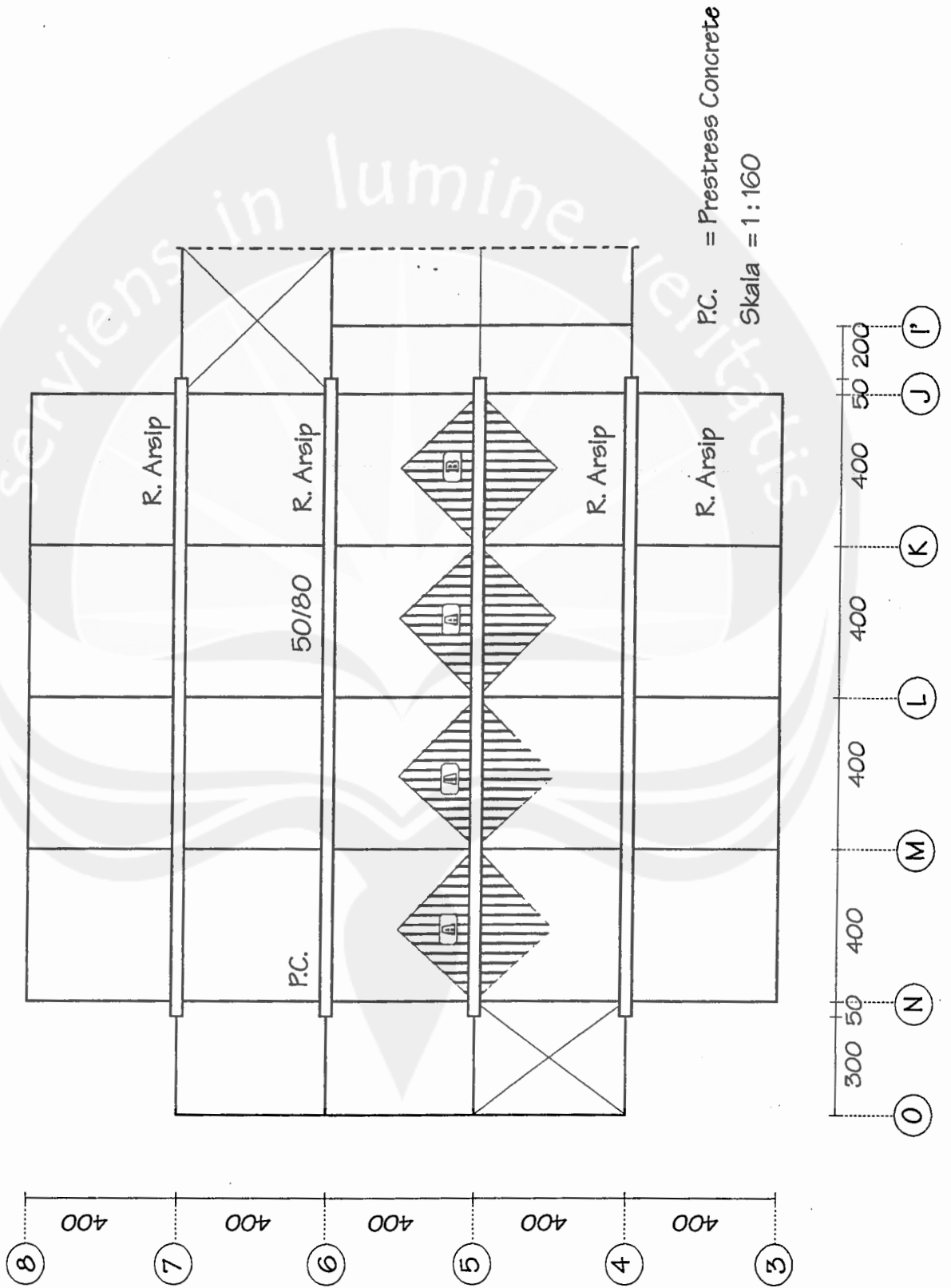
Tegangan izin baja tulangan

Tegangan tarik pada tulangan f_s tidak boleh melebihi ketentuan dibawah ini:

- a. tulangan mutu 300 140 MPa
- b. tulangan mutu 400 atau lebih dan anyaman kawat las (polos atau *deform*) 170 MPa
- c. untuk tulangan lentur, diameter 10 mm atau kurang, untuk pelat searah dengan bentangan tidak lebih dari 4 m $0,50f_y$
tetapi tidak boleh lebih besar dari 200 MPa.



Gambar 2.5 Profil kabel balok prategang



Gambar 2.6 Perataan beban pada pelat lantai

II.4 Hitungan Pembebanan Balok

II.4.1 Beban Kerja

a. Beban mati (*dead load*)

Beban mati pada pelat lantai setebal = 12 cm

- pelat lantai	$= 0,12 \times 2400 \text{ kg/m}^3$	$= 228 \text{ kg/m}^2$
- spesi tebal 2 cm	$= 2 \times 21 \text{ kg/m}^2$	$= 42 \text{ kg/m}^2$
- penutup lantai keramik tebal 2 cm	$= 2 \times 24 \text{ kg/m}^2$	$= 48 \text{ kg/m}^2$
- plafon + penggantung	$= 7 \text{ kg/m}^2 + 11 \text{ kg/m}^2$	$= 18 \text{ kg/m}^2$
- M/E/AC (taksiran)		$= 20 \text{ kg/m}^2$
	Q_D	$= 416 \text{ kg/m}^2$

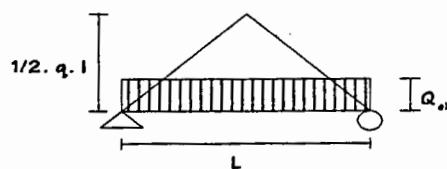
b. Beban hidup (*live load*)

- pelat lantai, tebal 12 cm	Q_{L-I}	$= 400 \text{ kg/m}^2$
- pelat lantai R. Arsip, tebal 12 cm	Q_{L-II}	$= 500 \text{ kg/m}^2$

II.4.2 Pemilihan Portal

Hitungan portal hanya pada portal memanjang, yaitu pada bentangan balok prategang dan direncanakan pada bagian yang akan memikul beban yang lebih besar (Gambar 2.6).

a. Perataan beban



Gambar 2.7 Perataan beban segitiga tunggal

$$R = \frac{1/2 \cdot L \cdot (1/2 \cdot q \cdot L)}{2} = 1/8 \cdot q \cdot L^2$$

Momen maksimum akibat beban q segitiga:

$$\begin{aligned} M &= R \cdot (1/2L) - 1/2 \cdot (1/2 \cdot q \cdot L) \cdot (1/2L) \cdot (1/3 \cdot 1/2 \cdot L) \\ &= (1/8 \cdot q \cdot L^2) \cdot (1/2L) - (1/48 \cdot q \cdot L^3) \\ &= 2/48 \cdot q \cdot L^3 \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

Momen maksimum akibat beban Q_{ek} , yaitu:

$$M = 1/8 \cdot Q_{ek} \cdot L^2 \dots\dots\dots (2)$$

Persamaan (1) = persamaan (2), diperoleh:

$$\begin{aligned} 2/48 \cdot q \cdot L^3 &= 1/8 \cdot Q_{ek} \cdot L^2 \\ Q_{ek} &= 1/3 \cdot q \cdot L \end{aligned}$$

Tabel 2.2 Hitungan beban ekuivalen

Bagian	L (m)	Q_D Kg/m ²	Q_L Kg/m ²	$Q_{ek} = 1/3 \cdot q \cdot L$	
				Q_{ek-D} (kg/m)	Q_{ek-L} (kg/m)
a	4	416	400	554,667	533,333
b	4	416	500	554,667	666,667

b. Pembebanan akibat beban gravitasi

Beban mati:

$$\begin{aligned} - \text{balok } (50/80) &= 0,50 \times (0,80 - 0,12) \times 2400 \text{ kg/m}^3 &= 816 &\text{ kg/m} \\ - \text{pelat lantai} &= 2 \times Q_{ek} \text{ lantai} = 2 \times 554,667 \text{ kg/m} &= 1109,334 &\text{ kg/m} \\ - \text{dinding } 1/2 \text{ bata} &= (4,5 - 0,8) \times 250 \text{ kg/m}^2 &= 925,000 &\text{ kg/m} \\ &&&\text{-----} + \\ Q_{Da} = Q_{Db} &= 2850,334 &\text{ kg/m} \end{aligned}$$

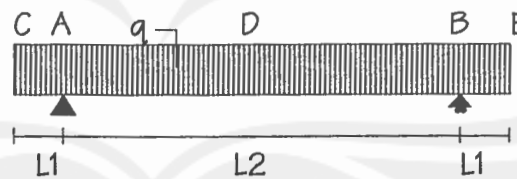
Beban hidup

$$\text{- bagian a } (Q_{La}) = 2 \times Q_{ek\ L-a} = 2 \times 533,333 \text{ kg/m} = 1066,666 \text{ kg/m}$$

$$\text{- bagian b } (Q_{Lb}) = 2 \times Q_{ek\ L-b} = 2 \times 666,667 \text{ kg/m} = 1333,333 \text{ kg/m}$$

Beban hidup merata yang digunakan diambil yang terbesar (= 1333,333 kg/m), dengan asumsi beban yang terbesar mewakili beban yang terkecil dalam melayani pembebanan pada balok. Sehingga pada analisa ini, balok prategang akan melayani beban kerja yaitu beban mati merata (Q_{DL}) sebesar 2850,334 kg/m dan beban hidup merata (Q_{LL}) sebesar = 1333,333 kg/m.

Reaksi dan momen yang bekerja pada struktur akibat pembebanan pada struktur akan dihitung sebagai berikut:



Gambar 2.8 Pembebanan struktur

Menghitung reaksi:

$$\sum M_B = 0 \rightarrow R_A \cdot L_2 - q \cdot L_1 \cdot (\frac{1}{2}L_2 + L_2) - q \cdot L_2 \cdot (\frac{1}{2}L_2) + q \cdot L_1 \cdot (\frac{1}{2}L_1)$$

$$R_A \cdot L_2 = q \cdot L_1 \cdot (\frac{1}{2}L_1 + L_2) + q \cdot \frac{1}{2}L_2^2 - q \cdot \frac{1}{2}L_1^2$$

$$R_A \cdot L_2 = q \cdot \frac{1}{2}L_1^2 + q \cdot L_1 \cdot L_2 + q \cdot \frac{1}{2}L_2^2 - q \cdot \frac{1}{2}L_1^2$$

$$R_A = [q \cdot L_2 (L_1 + \frac{1}{2}L_2)] / L_2$$

$$R_A = q \cdot (L_1 + \frac{1}{2}L_2) (\uparrow), \text{ identik diperoleh}$$

$$R_B = q \cdot (L_1 + \frac{1}{2}L_2) (\uparrow)$$

Menghitung momen:

$$M_A = M_B = - \frac{1}{2} \cdot q \cdot L_1^2 \dots (\text{pada tumpuan})$$

$$M_D = \frac{1}{8} \cdot q \cdot L_2^2 - \frac{1}{2} \cdot q \cdot L_1^2 \dots (\text{di tengah-tengah bentangan})$$

Tabel 2.3 Hitungan reaksi dan momen

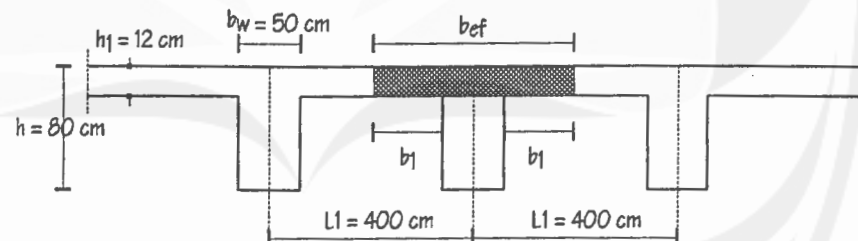
$q_{DL} = 28503,34 \text{ N/m}$			$q_{LL} = 13333,33 \text{ N/m}$		
$R_A = R_B, \text{ N}$	$M_A = M_B, \text{ Nm}$	$M_D, \text{ Nm}$	$R_A = R_B, \text{ N}$	$M_A = M_B, \text{ Nm}$	$M_D, \text{ Nm}$
242278,39	3562,918	908543,963	113333,305	1666,666	424999,894

Dengan $L_1 = 0,5 \text{ m}$ dan $L_2 = 16 \text{ m}$

II.5 Hitungan Balok T

Balok beton yang ditinjau berbentuk T, maka akan dihitung lebar efektif (b_{ef})

flens dari balok sesuai dengan SKSNI T15-1991-03 pasal 3.1.10, ditetapkan:



Gambar 2.9 Profil memanjang balok T

$$b_1 = 8 \times 12 \text{ cm} = 96 \text{ cm}, \text{ atau } L_1/2 = 400/2 = 200 \text{ cm}$$

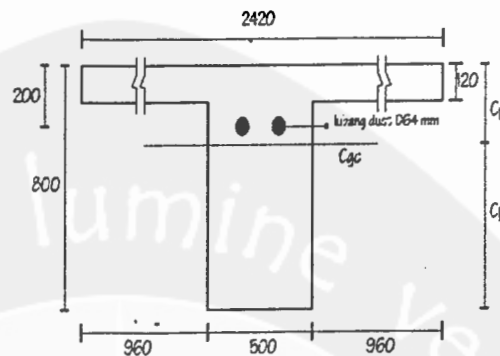
$$b_2 = 8 \times 12 \text{ cm} = 96 \text{ cm}, \text{ atau } L_1/2 = 400/2 = 200 \text{ cm}$$

$$b = b_w + b_1 + b_2 = 50 + 2 \cdot 96 = 242 \text{ cm}, \text{ atau } L/2 = 1700/2 = 850 \text{ cm}$$

digunakan b terkecil, sehingga $b_{ef} \text{ flens} = 242 \text{ cm}$

II.5.1 Penampang Beton Sebelum Grouting

Luas penampang beton sebelum *grouting*, digunakan luas penampang bersih beton (luas *netto*), yaitu luas penampang beton dikurangi lubang untuk *grouting*, dalam hal ini yaitu lubang diameter pipa (*duct*).



Gambar 2.10 Balok T sebelum Grouting

Hitungan section properties balok beton:

Tabel 2.4 Hitungan luas dan momen statis beton sebelum grouting

Bagian	luas, mm ²	Lengan, mm	Momen statis, mm ³
I	500.800 = 400000	0	0
II	2.120.960 = 230400	400-120/2 = 340	78336000
Lubang	-2.1/4.π.65 ² = 6636,614	400-200 = 200	-1327322,896
$A_{c \text{ netto}} = 623763,386 \text{ mm}^2$		$\Sigma(AxY) = 77008677,10 \text{ mm}^3$	

$$c_I = \Sigma(AxY)/A_c = 77008677,10/623763,386 = 123,458 \text{ mm (diatas titik berat bagian I)}$$

$$c_{II} = 340 - 123,458 = 216,542 \text{ mm}$$

$$c_{lubang} = 200 - 123,458 = 76,542 \text{ mm}$$

$$C_t = 400 - 123,458 = 276,542 \text{ mm}$$

$$C_b = 400 + 123,458 = 523,458 \text{ mm}$$

Hitungan momen inersia balok beton:

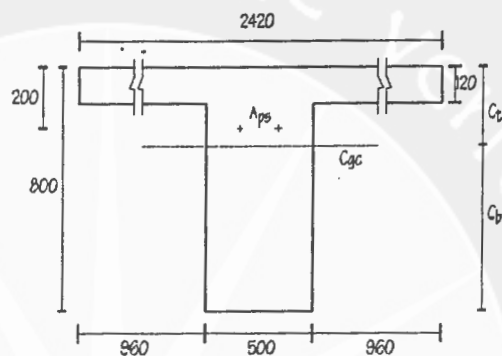
$$I : (1/12 \cdot 500 \cdot 800^3) + (500 \cdot 800 \cdot 123,458^2) = 2,743009979 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$II : 2 \cdot [1/12 \cdot 960 \cdot 120^3 + (960 \cdot 120 \cdot 216,542^2)] = 1,108003686 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang} : -2[1/64 \cdot \pi \cdot 65^4 + (1/4 \cdot \pi \cdot 65^2 \cdot 76,542^2)] &= -40634266,70 \text{ mm}^4 + \\ I_{c \text{ netto}} &= 3,846950239 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

II.5.2 Penampang Beton Sesudah *Grouting*

Karena lubang pada tendon telah ditutupi oleh bahan *grouting*, maka luas penampang beton digunakan luas penampang transformasi, yaitu luas beton ditambah dengan luas tulangan baja prategang (beton dan baja menjadi satu kesatuan/komposit).



Gambar 2.11 Balok T sesudah *grouting*

Hitungan section properties balok beton:

Tabel 2.5 Hitungan luas dan momen statis beton sesudah *grouting*

Bagian	luas, mm ²	Lengan, mm	Momen statis, mm ³
I	500.800 = 400000	0	0
II	2.120.960 = 230400	400-120/2 = 340	78336000
A_{ps}	(6,611-1).1579,2=8860,891	400-200 = 200	1772178,200
$A_t = 639260,891 \text{ mm}^2$		$\Sigma(AxY) = 80108178,20 \text{ mm}^3$	

dimana $n = E_{ps}/E_c = 6,611$

$$c'_I = \Sigma(AxY)/A_t = 80108178,20/639260,891 = 125,314 \text{ mm (diatas titik berat bagian I)}$$

$$c'_{II} = 340 - 125,314 = 214,686 \text{ mm}$$

$$c_{Aps} = 200 - 125,314 = 74,686 \text{ mm}$$

$$C'_t = 400 - 125,314 = 274,686 \text{ mm}$$

$$C'_b = 400 + 125,314 = 525,314 \text{ mm}$$

Hitungan momen inersia balok beton:

$$\begin{array}{llll}
 \text{I} & : & (1/12 \cdot 500 \cdot 800^3) + (500 \cdot 800 \cdot 125,314^2) & = 2,761477276 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4 \\
 \text{II} & : & 2 \cdot [1/12 \cdot 960 \cdot 120^3 + (960 \cdot 120 \cdot 214,686^2)] & = 1,089563410 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4 \\
 A_{ps} & : & (6,611-1) \cdot 1579,2 \cdot 74,686^2 & = 49426038,67 \text{ mm}^4 \\
 & & & \hline
 I_t & & & = 3,855983291 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4
 \end{array}$$