

STUDI ALTERNATIF STRUKTUR ATAS JEMBATAN DENGAN BALOK GIRDER PRATEGANG TIPE I

(Studi Kasus : Jembatan Langgaliru Kecamatan Umbu Ratunggay Kabupaten Sumba Tengah)

Yustika Hubertha Haning¹, Ester Priskasari², Mohammad Erfan³
¹²³⁾ Jurusan Teknik Sipil S-1 Institut Teknologi Nasional Malang
Email : Yustikahaning12@gmail.com

ABSTRACT

Concomitant the times and considering the increasing flow of traffic that will through the Langgaliru Bridge, it is important to plan an alternative structure for the Langgaliru Bridge using prestressed girder beams. Post-Tensioning method in which compressive force is induced into the concrete structure using high strength steel tendons that are embedded in ducts inside the concrete. Tendons stressed after the concrete has been cast and cured until the required compressive strength of the concrete. The number of tendons used is 3 pieces, each tendon consisting of 15 strands. The shear reinforcement used is D 19 - 250, the shear connector used is D 19 - 700, the vertical direction of the explosive break return used is D 10 - 550, the horizontal direction of the clot breaking reinforcement used is D 10 - 550, the vertical direction of the block fracture reinforcement used is D 36 - 60, the horizontal direction of the clot breaking reinforcement used is D 36 - 240.

Keywords : *Prestressed Bridge, Tendon, PCI Girder, Shear reinforcement, End Block Reinforcement*

ABSTRAK

Seiring dengan perkembangan jaman dan mengingat semakin meningkatnya volume lalu lintas kendaraan yang akan melewati Jembatan Langgaliru, maka perlu direncanakan alternatif struktur atas Jembatan Langgaliru dengan menggunakan balok girder prategang. Bentuk penampang balok girder yang digunakan pada perencanaan adalah balok girder tipe I. Pemberian tegangan dilakukan dengan metode Pasca Tarik (*Post-Tensioning*) dimana *compressive force* diinduksi ke dalam struktur beton dengan menggunakan *high strength steel* tendon yang dipasang dalam ducts embedded dalam beton. Tendon distressing setelah beton dicor dan dicuring sampai kuat tekan beton yang disyaratkan. Jumlah tendon yang digunakan 3 buah yang masing-masing tendon terdiri dari 15 untaian (**strand**). Tulangan Geser yang digunakan adalah D 19 - 250, penghubung geser yang digunakan adalah D 19 - 700, tulangan pecah ledak arah vertikal yang digunakan adalah D 10 - 550, tulangan pecah ledak arah horizontal yang digunakan adalah D 10 - 550, Tulangan Pecah Gumpal arah vertikal yang digunakan adalah D 36 - 60, tulangan pecah gumpal arah horizontal yang digunakan adalah D 36 - 240.

Kata Kunci : *Jembatan Prategang, Tendon, PCI Girder, Tulangan Geser, Tulangan Balok Ujung*

1. PENDAHULUAN

Jalan sebagai salah satu prasarana transportasi, mempunyai peranan yang penting di dalam kelancaran transportasi untuk pemenuhan kebutuhan hidup. Sehingga jalan yang aman, lancar, dan nyaman telah menjadi kebutuhan hidup yang utama. Tetapi seperti yang telah diketahui, terkadang perjalanan terganggu oleh sungai, selat, atau danau sehingga perlu adanya suatu penghubung agar kita dapat melintasi lokasi tersebut dalam hal ini adalah jembatan.

Seiring dengan perkembangan jaman dan mengingat semakin meningkatnya volume lalu lintas kendaraan yang akan melewati Jembatan Langgaliru, maka perlu direncanakan alternatif struktur atas Jembatan Langgaliru dengan menggunakan balok girder prategang. Bentuk penampang balok girder yang digunakan pada perencanaan adalah balok girder tipe I.

Rumusan dan Tujuan Perencanaan

Tujuan perencanaan ini untuk menentukan jumlah dan koordinat tendon, menghitung dimensi dan jumlah tulangan geser, sebar connector, dan end block pada jembatan Langgaliru.

2. LANDASAN TEORI

Pembebanan Jembatan

Pada perencanaan pembebanan jembatan dibagi 3 jenis beban, yaitu beban permanen, beban lalu lintas/beban hidup dan aksi lingkungan (SNI 1725, 2016).

Beban Permanen (dead load)

Tabel 1. Faktor beban untuk berat Sendiri

Tipe Beban	Faktor beban			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^s)		Keadaan Batas Ultimate (γ_{MA}^u)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton Pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

Sumber : SNI 1725-2016

Tabel 2. Faktor beban untuk beban mati tambahan

Tipe Beban	Faktor beban	
	Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^s)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{MA}^u)

Tetap	Keadaan	Biasa	Terkurangi
	Umum	1,00	2,00
Khusus (terawasi)		1,00	1,40
			0,80

Sumber : SNI 1725-2016

Beban Lalu Lintas

Beban lajur “D”

Tabel 3. Faktor beban untuk beban lajur “D”

Tipe Beban	Jembatan	Faktor beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TD}^s)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TD}^u)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boxs Girder	1,00	2,00
	Baja		

Sumber : SNI 1725-2016

Beban Gandar “T”

Tabel 4. Faktor beban untuk beban gandar “T”

Tipe Beban	Jembatan	Faktor beban	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TT}^s)	Keadaan Batas Layan (γ_{TT}^u)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boxs Girder	1,00	2,00
	Baja		

Sumber : SNI 1725-2016

Beban akibat Aksi Lingkungan

Beban Angin

$$TEW = 0,0012 \times Cw \times Vw^2 \quad (1)$$

Keterangan :

0,0012 : Tekanan angin dasar

Cw: Koefisien Serat = 1,2

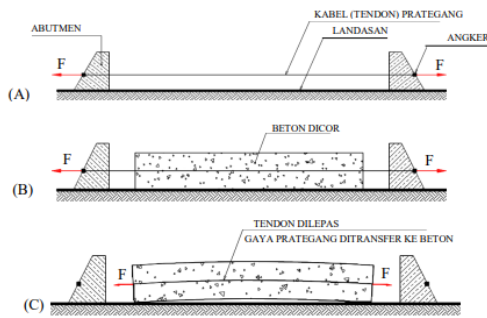
Vw : Kecepatan angin rencana = 126 km/jam = 35 m/det

(SNI 1725-2016 hal. 55)

BETON PRATEGANG

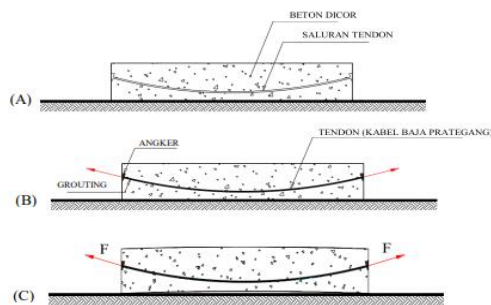
Beton Prategang adalah jenis beton dimana tulangan bajanya ditarik ditegangkan terhadap betonnya. Penarikan ini menghasilkan sistem kesetimbangan pada ketegangan dalam (tarik pada baja dan tekan pada beton) yang akan meningkatkan kemampuan beton menahan beban luar. Karena beton cukup kuat dan daktail terhadap tekanan dan lemah terhadap tarikan maka kemampuan menahan beban luar dapat ditingkatkan dengan pemberian pratekanan. Ada dua tahap pemberian tegangan :

Pratarik (Pre-Tensioning)



Gambar 1. Konsep pra-tarik
 Sumber : ir. Soetoyo,2002

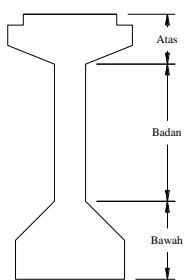
Pasca Tarik (Post-Tensioning)



Gambar 2. Konsep Pasca Tarik
 Sumber : Ir. Soetoyo, 2002

Jenis Penampang

Jenis penampang yang digunakan dalam perhitungan alternatif jembatan Langgali adalah penampang PCI Girder.



Gambar 3. Penampang PCI Girder

MATERIAL BETON PRATEGANG

Beton Mutu Tinggi

Pada konstruksi beton prategang, biasanya digunakan beton mutu tinggi yang mana menurut ACI 318 adalah beton yang mempunyai kuat tekan silinder melebihi 6.000 psi (41,4 Mpa)

Baja Prategang

Baja prategang yang digunakan untuk mengantisipasi kehilangan rangkai dan susut beton sehingga prategang efektif dengan menggunakan mutu sangat tinggi hingga 270.000 Psi atau lebih (1862 MPa atau lebih tinggi lagi). Tahan korosi

Baja prategang dapat berbentuk kawat-kawat tunggal, strands yang terdiri atas beberapa kawat yang dipuntir membentuk elemen tunggal dan batang-batang bermutu tinggi.

Gambar 4. Strands
 Sumber : NAWy, 2001



Selongsong Tendon (duct)

Selongsong merupakan saluran saluran penempatan kabel prategang yang terbuat dari lapisan tipis dan tetap ditempat. Selongsong untuk tendon yang di grout harus kedap mortar dan tidak reaktif dengan beton.

Gambar 5. Selongsong tendon (duct)
 Sumber : VSL Multistrand



Angkur

Penarikan dan penjangkaran strand pada ujung balok serta saluran tendon diletakkan pada ankur. Angkur pada sistem prategang terdiri dari 2 jenis yaitu ankur hidup dan ankur mati.

Gambar 6. Angkur



Sumber : VSL Multistrand

TEGANGAN IJIN

Kehilangan Gaya Prategang Langsung (Immediate)

Kehilangan gaya prategang langsung atau segera setelah beton diberi gaya prategang. Kehilangan gaya prategang secara langsung dapat disebabkan oleh :

Perpendekan Elastik Beton (ES)

$$ES = K \cdot \epsilon_{ci} \cdot \frac{E_s}{E_{ci}} \cdot f_{ci} \quad (3)$$

$$f_{cir} = -\frac{F}{A} - \frac{F_0 \cdot e^2}{I} + \frac{M_0 \cdot e}{I} \quad (4)$$

Sumber : (T.Y Lin ; H Burns,1988)

Keterangan :

ES = kehilangan prategang akibat perpindahan elastik beton (MPa)

Kes = koefisien elastis 0,5 (pasca tarik)

Es = modulus elastis baja (MPa)

Eci = modulus elastis beton saat transfer gaya prategang (MPa)

fcir = tegangan beton pada c.g.s akibat gaya prategang efektif segera setelah gaya prategang telah dikerjakan pada beton (MPa)

Kehilangan Gaya Prategang Yang Bergantung Dengan Waktu (Time Dependent Losses)

Kehilangan gaya prategang akibat dari pengaruh waktu dapat disebabkan oleh:

Rangkak pada beton (CR)

Deformasi atau aliran beban/lateral akibat tegangan longitudinal disebut rangkak dan kehilangan hanya terjadi akibat beban yang terus menerus selama riwayat pembebanan suatu elemen struktural. Kehilangan gaya prategang akibat rangkak dapat dihitung dari persamaan :

$$CR = K_{cr} E_s / E_c (f_{cir} - f_{cds}) \quad (5)$$

Sumber : (T.Y Lin ; H Burns,1988)

Keterangan :

CR = kehilangan prategang akibat rangkak (MPa)

Kcr = koefisien elastis 1,6 (pasca tarik); 2,0 (pratarik)

Es = modulus elastisitas baja (MPa)

Ec = modulus elastisitas beton saat transfer gaya prategang (MPa)

fcir = tegangan beton pada c.g.s akibat gaya prategang efektif segera setelah gaya prategang telah dikerjakan pada beton (MPa)

fcds = tegangan beton pada c.g.s akibat seluruh beban mati yang bekerja pada komponen struktur setelah diberi gaya prategang (MPa)

Susut pada beton (SH)

$$SH = 8,2 \times 10^6 K_{SH} E_s^9 \left(1 - 0,0236 \frac{V}{S}\right) (100 - RH) \quad (6)$$

Sumber : (T.Y Lin ; H Burns,1988)

Keterangan :

SH : kehilangan prategang akibat susut beton (MPa)

KSH : koefisien susut,

Es : modulus elastisitas baja (MPa)

V : luas penampang box (cm²)

S : keliling penampang box (cm)

RH: kelembaban relative

Relasi baja prategang (RE)

$$RE = [K_{re} - J(SH + CR)] X C \quad (7)$$

Sumber : (T.Y Lin ; H Burns,1988)

Keterangan :

RE : kehilangan prategang akibat relaksasi baja (MPa)

Kre : didapat dari tabel 3.8

J : didapat dari tabel 3.8

SH : kehilangan prategang akibat susut beton (MPa)

CR : kehilangan prategang akibat rangkak (MPa)

ES : kehilangan prategang akibat pendekatan elastik beton (MPa)

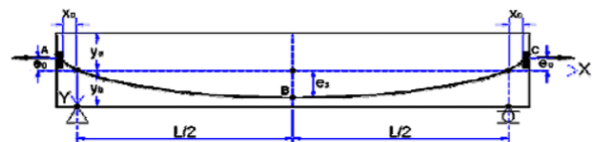
Tabel 5. Nilai J dan Kre

Tipe Tendon	Kre	J
Strand atau kawat stress-relieved derajat 1860 MPa	138	0,15
Strand atau kawat stress-relieved derajat 1720 MPa	128	0,14
Kawat stress-relieved derajat 1655 MPa atau 1620 MPa	121	0,13
Strand relaksasi-rendah derajat 1860 MPa	35	0,040
Kawat relaksasi-rendah derajat 1720 MPa	32	0,037
Kawat relaksasi rendah derajat 1655 MPa atau 1620 MPa	30	0,035
Batang stress-relieved derajat 1000 MPa atau 1100 MPa	41	0,05

Sumber : (T. Y. Lin ; H Burns, 1988)

Lintasan Tendon

Lintasan tendon merupakan daerah pada sepanjang jembatan dimana titik berat dari kabel - kabel prategang (center gravity of steel / CGS) melintasi dengan membentuk lintasan lurus, lintasan tendon parabolik ditentukan melalui titik-titik kordinat dengan persamaan parabolik, yaitu :



Gambar 7. Layout Tendon Parabola

Sumber : Ir. Soetoyo, 2002

$$y_i = \frac{4 \cdot f \cdot x_i (L - x_i)}{L^2} \quad (8)$$

Keterangan :

Yi = Ordinat tendon yang ditinjau

Xi = Absis tendon yang ditinjau

L = Panjang bentang

F = tinggi parabola maksimum

Daerah Aman Tendon

Daerah aman kabel atau tendon prategang digunakan untuk membatasi eksentrisitas tendon pada balok sederhana. Pembatasan ini perlu ditetapkan untuk melihat apakah tarik diperkenankan dalam desain untuk membatasi ordinat maksimum dan minimum dari selubung atas dan bawah relatif terhadap kern atas dan bawah. Jika Mo adalah momen akibat berat sendiri balok girder dan MT adalah momen total akibat semua beban transversal maka lengan dari kopel antara garis tekan pusat (garis C) dan pusat garis tendon prategang (garis cgs) akibat Mo dan MT masing - masing adalah a2 dan a1.

Batas bawah. Lengan minimum dari kopel tendon adalah :

$$a_2 = \frac{M_0}{F_0} \quad (9)$$

Keterangan :

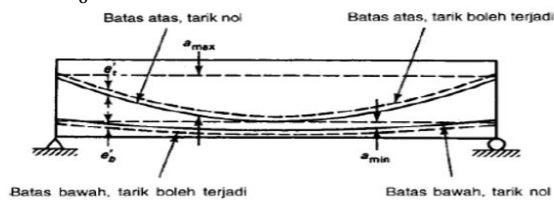
A2 : batas bawah daerah aman tendon

Fo : gaya prategang awal

Mo : momen akibat berat sendiri balok girder

Batas atas lengan minimum dari kopel tendon adalah :

$$a_1 = \frac{M_T}{F_0} \quad (10)$$



Gambar 8. Daerah aman kabel
 Sumber : Nawy, 2001

TULANGAN GESER

Tulangan geser merupakan tulangan yang berfungsi untuk mencegah terjadinya retak diagonal pada komponen struktur prategang. Pada dasarnya penulangan geser melakukan empat fungsi utama, yaitu :

1. Penulangan tersebut memikul sebagian gaya geser terfaktor eksternal V_u .
2. Penulangan tersebut membatasi perambatan retak diagonal.
3. Penulangan tersebut menahan posisi batang tulangan utama longitudinal agar dapat memberikan pengekangan terhadap beton didaerah tekan jika sengkang yang digunakan adalah sengkang tertutup.

Perhitungan penulangan terhadap geser pada PCI-Girder ini mengacu pada Budiadi, A (2008) dalam buku Desain Praktis Beton Prategang.

KUAT GESER

Kuat geser pada balok prategang dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$V_c = \left(0,05 \lambda \sqrt{f_c} + 4,8 \frac{V_{u \times d_p}}{M_u} \right) \times b_w \times d_p \quad (11)$$

Dengan syarat $V_c \min < V_c < V_c \max$

$$V_c \min = 0,17 \lambda \sqrt{f_c} \times b_w \times d_p \quad (12)$$

$$V_c \max = 0,42 \lambda \sqrt{f_c} \times b_w \times d_p \quad (13)$$

Keterangan :

f_c' : Kuat tekan beton (MPa)

V_c : Gaya geser ultimate balok prategang

b_w : Lebar badan balok (mm)

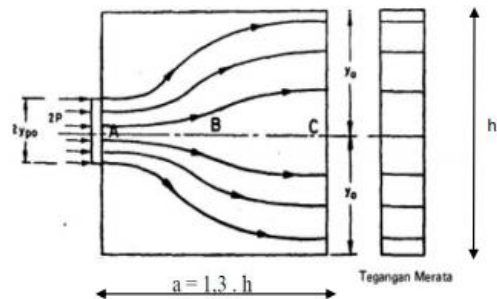
d_p : Jarak dari serat terluar titik berat tulangan prategang (mm)

BALOK UJUNG (END BLOCK)

Pada hampir semua batang pasca tarik, kawat-kawat prategang yang dipasang didalam selongsong (yang telah dipasang terlebih dahulu dalam beton) ditegangkan dan kemudian diangkur pada ujungnya atau disebut dengan blok ujung (*end block*).

Gambar 9. Distribusi Tegangan pada Balok Ujung
 Sumber : Nawy, 2001

Perhitungan balok ujung (*end block*) merupakan gaya tunggal sentris yang terdiri dari :



Perhitungan daerah Pecah Ledak

Tulangan daerah ini dipasang $0,2 a - 1,0 a$ dipusatkan pada $0,45 a$ dan gaya tarik angkur (N) digunakan rumus :

$$N = \frac{F_0}{\text{jumlah tendon } (n)} \quad (14)$$

Perencanaan tulangan pecah ledak terpusat pada $0,45 a$ (jarak maximum terjadinya momen pecah ledak). Tegangan desak seragam pada balok ujung digunakan rumus :

$$f'b = \frac{F_0}{A} \quad (15)$$

Gaya desak balok ujung :

- Pada slab atas (G1) = $f'b \cdot b$ slab

- Pada web (G2) = $f'b \cdot b$ badan

- Pada slab bawah (G3) = $f'b \cdot b$ slab

- Pada angker (G4) = F_0/h

Dimana :

a = panjang daerah blok ujung

N = Gaya tarik angkur

n = jumlah tendon

F_0 = gaya prategangan awal

$F'b$ = tegangan desak seragam pada balok ujung

Momen pecah ledak didapat dipusat angker :

$$MPL = (G1 (Y_a - h_{slab} / 2)) + (G2 (Y_b - h_{web} / 2)) + (G3 (Y_b - h_{slab} / 2)) + (G4 (h_{angker} / 2))$$

Dan tegangan tarik pada blok ujung :

$$\sigma = \frac{7,2 MPL}{b_{web} \cdot a^2} \quad (16)$$

Perencanaan tulangan Pecah Ledak

Penulangan tulangan arah vertikal web dan arah horizontal web, dengan menggunakan rumus yaitu Perbandingan distribusi :

$$\frac{Y_{po}}{Y_o} = \frac{d}{d'} \quad (17)$$

Gaya tarik memecah (Bursting Force)

$$F_{bs} = 0,3 F_o \cdot \left(1 - \frac{Y_{po}}{Y_o}\right)^{0,58} \quad (18)$$

METODE PELAKSANAAN KONSTRUKSI

Sistem yang dipakai dalam pelaksanaan Jembatan Langgaliru adalah sisten Pasca Tarik atau Post Tension dimana pengecoran dilakukan dilokasi setelah selesainya bekisting kemudian setelah beton kering tendon akan diberi tegangan. Setelah beton diberi tegangan dan dirangkai, beton tersebut akan diletakkan pada abutment dengan menggunakan alat bantu Crawler Crane atau MobileCrane tergantung pada bobot gelagar prategang. Crawler Crane dan Mobile Crane adalah salah satu alat yang membantu proses pemasangan balok girder ke atas tumpuannya.

3. ANALISA

Perhitungan Penulangan Plat Pembebanan Plat Lantai Kendaraan

Be = ¼ L
 = ¼ x 47000
 = 11750 mm
 be = 12 + 16 (t1+t2)
 = 800+(16x200)
 = 4000 mm
 be = jarak anatar balok
 = 1750 mm
 diambil be = 1750 mm
 Ec plat = 25742,96 Mpa
 Ec Girder = 31528,56 Mpa
 Beton ekivalen (n)
 n = Ec.plat/Ec.Balok girder
 = 25743/31529
 = 0,82
 Lebar efektif plat lantai (beff)
 beff= n x be
 = 0,82 x 1750
 = 1429 mm
 Beban-beban yang bekerja pada Plat Lantai Kendaraan

1) Beban Mati

Bj Beton mutu tinggi Untuk = 2500 Kg/m³ = 25 kN/m³
 Bj Beton 35 < f'c < 105 Mpa = 2240+2,29 (f'c)(SNI 1725-2016, hal. 13) = 2240 + 2,29 (30) = 2308,7 Kg/m³
 Faktor beban = 1,3 (Beton cor ditempat)
 Bj Aspal = 2245 Kg/m³
 Faktor beban = 1,3 (Beton cor ditempat)
 Bj Air = 1000 Kg/m³ Faktor beban air= 1,4
 Tebal Diafragma= 0,20 m Lebar Diafragma =1,55 m
 Tinggi Diafragma=0,88 m Jumlah Diafragma = 11

Tabel 6. Perhitungan Beban Mati Plat Lantai

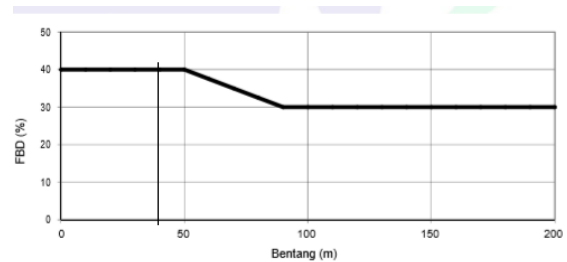
Uraian	Luas	Berat Jenis	Faktor	Jumlah
--------	------	-------------	--------	--------

	(m²)	(Kg/m³)	Beban	(Kg/m)
Berat Sendiri Balok Girder	0,67	2500,00	1,3	2175,88
Berat Balok Diafragma	0,27	2500,00	1,3	886,60
Berat Sendiri Pelat Lantai	0,36	2308,70	1,3	1072,12
Berat Aspal	0,07	2245,00	1,3	208,51
Berat Air Hujan	0,07	1000,00	1,4	100,02
Beban Mati (qult)				4443,12

Sumber : Perhitungan

2) Beban Hidup Beban Lajur (D)

Beban Terbagi Rata (BTR)
 Beban Terbagi Rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu :
 Jika L < 30 m ; maka q = 9,0 kPa; Jika L > 30 m ; maka q = 9,0 (0,5 + 15/L) L= 47 m
 q = 9,0 (0,5+15/47)=7,372 kPa=7372 kg/m
 Beban Garis Terpusat (BGT)
 Beban BGT ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan.Besarnya intensitas p adalah p = 49,0 kN/m = 4900 kg/m



Gambar 10. Faktor beban dinamis

Faktor Dinamis (FBD) L = 47 m

FBD = 40% = 0,4

p = 4900 x (1 + 0,4)= 6860 kg/m

Beban Gandar (T)

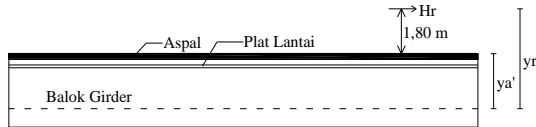
Tu = 11250 x 1,8 = 20250 kg.Pengaruh beban hidup pada waktu menentukan momen positif harus di ambil nilai yang terbesar dari (SNI 1725-2016 hal 43):

o Pengaruh beban truk dikalikan dengan faktor beban dinamis (FBD) atau

o Pengaruh beban terdistribusi "D" dan beban garis KEL dikalikan FBD)

beban T = 20250 kg Beban BTR = 7372,34 kg/m Beban BGT= 6860 Kg/m. Diambil nilai terbesar,Jadi beban hidup = 20250 Kg

Gaya Rem



Gambar 11. Gaya Rem

Gaya Rem harus diambil yang terbesar dari (SNI 1725-2016; hal.46) :

$$0,25 \times 20250 = 5062,5 \text{ atau } (0,05 \times 11250) + 7372 = 8497,34 \text{ Jadi, Hr} = 8497,34 \text{ kg/m}$$

$$y_r = y_a' + 0,05 + 1,80 = 0,76 + 0,05 + 1,80 = 2,61 \text{ m}$$

$$M_R = H_r \times y_r = 8497,34 \times 2,61 = 22210,94 \text{ kgm} = 222,11 \text{ kNm}$$

Jadi, Beban Akibat gaya rem = 222,11 kg/m

Beban Angin

$$T_{ew} = 0,0012 \times 1,20 \times 1225 = 1,764 \text{ kN/m}$$

Analisa Pembebanan Plat Trotoar

Tabel 7. Perhitungan Beban Mati Pada Trotoar

Uraian	Tebal	Berat Jenis	Panjang	Faktor	Jumlah
	(m)				
Berat Sendiri Pelat	0,400	2308,70	1,000	1,3	1200,52
Berat Air Hujan	0,050	1000,00	1,000	1,4	70,000
Beban Mati (qu1)					1270,52

Sumber : Perhitungan

Analisa Statika untuk Plat Lantai

Tabel 8. Hasil Analisa momen program STAAD.Pro V8i SS6

No	Kondisi Pembebanan	Momen Max. Lantai Kendaraan		Momen Max. Trotoar	
		Negatif	Positif	Negatif	Positif
1	Kondisi 1	9660	7410	1220	
2	Kondisi 2	9750	9370	1220	
3	Kondisi 3	10100	7190	1220	
4	Kondisi 4	9300	7160	1220	
5	Maximum	10100	9370	1220	

Sumber : Perhitungan

Penulangan Plat Lantai

Dari hasil perhitungan berdasarkan pembebanan I diperoleh momen tumpuan terbesar : Mmax Tumpuan : 10100 Kg.m

Diameter tulangan rencana : 13 mm

$$d = h - \text{tebal selimut} - \frac{1}{2}D = 250 - 40 - (\frac{1}{2} \times 13) = 204 \text{ mm}$$

$$d' = h - d = 250 - 204 = 47 \text{ mm}$$

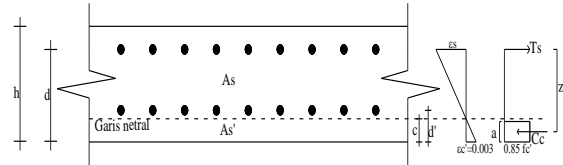
Dicoba tulangan D13 jarak tulangan = 100 mm

$$A_s = A_s' = \frac{1}{4} \pi D^2 b$$

$$= \frac{\text{jarak tulangan}}{100} = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \times 1000 = 1327,86 \text{ mm}^2$$

Mencari letak garis netral :

Diasumsikan $c < d'$



$$C_c - T_1 - T_2 = 0$$

$$21675c^2 + 338604c - 37047214 = 0$$

$$a = 21675 \quad b = 338604 \quad c = 37047214$$

dengan menggunakan rumus ABC di dapat $C = 34,26 \text{ mm}$ Karena $c < d'$ maka asumsi benar

$$= \frac{d' - c}{c} E_c E_s = \frac{46,50 - 34}{34,26} \times 0,003 \times 200000 = 214,29$$

karena $f_s' < f_y$ maka di pakai f_y

$$a = \beta x c = 0,85 \times 34,263 = 29,12 \text{ mm}$$

$$C_c = 0,85 x f_c' x a x b = 0,85 \times 30 \times 29,12 \times 1000 = 742652,9633 \text{ N}$$

$$T_1 = A_s x f_y = 1327,85 \times 345 = 458110,71 \text{ N}$$

$$T_2 = A_s x f_s' = 1327,85 \times 214 = 284542,24 \text{ N}$$

$$C_c = T_1 + T_2$$

$$742652,96 = 458110,71 + 284542,24$$

$$742653 = 742653$$

$$z = d - (0,5 x a) = 203,5 - (0,5 \times 29) = 188,938 \text{ mm}$$

$$M_n = C_c x z = 742652,96 \times 188,94 = 140315497,1 \text{ Nmm}$$

$$M_r = \phi x M_n = 0,85 \times 140315497,17 = 119268172,598 \text{ Nmm} = 119,26 \text{ KNm}$$

$$N_{mm} = 119,26 \text{ KNm}$$

Kontrol : $M_r > M_u$ $119,2682 \text{ KNm} > 101 \text{ KNm}$

(Aman) jadi penulangan pelat pada tumpuan menggunakan D13 - 100 mm

Direncanakan menggunakan tulangan bagi D10 mm

Direncanakan menggunakan tulangan bagi D10 mm

Direncanakan menggunakan tulangan bagi D10 mm

Direncanakan menggunakan tulangan bagi D10 mm

Direncanakan menggunakan tulangan bagi D10 mm

Direncanakan menggunakan tulangan bagi D10 mm

Direncanakan menggunakan tulangan bagi D10 mm

Direncanakan menggunakan tulangan bagi D10 mm

Direncanakan menggunakan tulangan bagi D10 mm

Direncanakan menggunakan tulangan bagi D10 mm

Direncanakan menggunakan tulangan bagi D10 mm

Direncanakan menggunakan tulangan bagi D10 mm

Direncanakan menggunakan tulangan bagi D10 mm

Direncanakan menggunakan tulangan bagi D10 mm

Direncanakan menggunakan tulangan bagi D10 mm

Direncanakan menggunakan tulangan bagi D10 mm

Direncanakan menggunakan tulangan bagi D10 mm

Direncanakan menggunakan tulangan bagi D10 mm

Direncanakan menggunakan tulangan bagi D10 mm

Direncanakan menggunakan tulangan bagi D10 mm

Direncanakan menggunakan tulangan bagi D10 mm

Direncanakan menggunakan tulangan bagi D10 mm

Direncanakan menggunakan tulangan bagi D10 mm

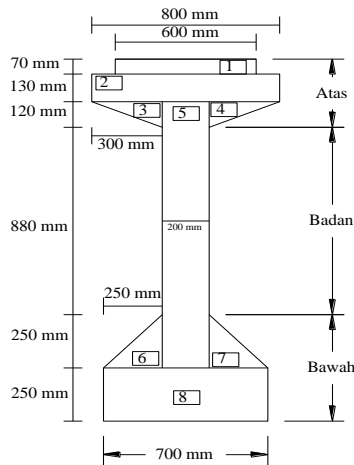
ANALISA BALOK GIRDER PRATEGANG

Spesifikasi Teknis

Lebar jembatan (B) = 47 m

Jarak antar gelagar (s) = 1,75 m

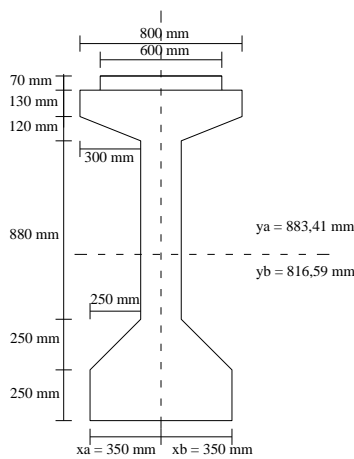
Mutu beton balok ($f'c$) = 45 Mpa
 Berat jenis beton bertulang (γ_c) = 2500 Kg/m³
 Bentuk dan dimensi balok girder yang digunakan pada perencanaan jembatan ini adalah sebagai berikut :



Gambar 12. Penampang Balok Girder

Section properties

Garis netral penampang terhadap sumbu x
 $y_a=883,41$ mm; $y_b=816,59$ mm. Garis netral penampang terhadap sumbu y: $x_a=x_b=350$ mm



Gambar 13. Titik berat penampang

Momen Inersia Penampang

$I_x=284308845060,58$ mm⁴; $I_y=3156508333,33$ mm⁴

Momen Tahanan

Terhadap serat Atas $W_x=I_y/y_a=3573103,56$;
 Terhadap serat bawah $W_y=I_y/y_b=3865465,73$

ANALISA PEMBEBANAN BALOK GIRDER
Pembebanan akibat Beban Mati

Tabel 9. Perhitungan Beban Mati

Uraian	Luas	Berat Jenis	Faktor Beban	Jumlah
	(m ²)	(Kg/m ³)		(Kg/m)
Berat Sendiri Pelat Lantai	0,36	2308,70	1,0	824,71
Berat Aspal	0,07	2245,00	1,0	160,39
Berat Air Hujan	0,07	1000,00	1,0	71,44

Sumber:Perhitungan

Pembebanan Akibat Beban Hidup
Beban Gandar

Beban hidup "T" adalah beban gandar truk maksimum sebesar

Roda depan = 50 kN;Roda Belakang= 112,5 kN

dengan faktor beban umtuk beban T sebesar 1,0(SNI1725-2016 hal.41)

Tu1= 112,5 x 1,0= 50 kN

Tu2= 112,5 x 1,0= 112,5 kN

Tu3= 50 x 1,0 = 112,5 kN

Tu = Tu1 + Tu2 + Tu3= 112,5 + 112,5 + 50=275 kN= 27500 kG Untuk 2 beban kendaraan yang lewat secara bersamaan : 55000 kN

Beban Lajur

Beban Terbagi Rata (BTR)

L= 47 m, q= 9,0(0,5+15/47)= 7,37 kPa= 7372,34 kg/m

Beban Garis Terpusat (BGT)

FBD=40%=0,4, p=4900 x (1 + 0,4)=6860 kg/m

Pengaruh beban hidup pada waktu menentukan momen positif harus di ambil nilai yang terbesar dari :

- Pengaruh beban truk dikalikan dengan faktor beban dinamis (FBD) atau
- Pengaruh beban terdistribusi "D" dan beban garis KEL dikalikan FBD(SNI 1725-2016 hal 43)

Jadi beban hidup = 27500 Kg

Gaya Rem

Yr =yac+0,05+1,80=0,76+0,05+1,80=2,61m

MR=Hrxyr= 27500 x 2,61=71881,43 kgm

=718,81 kNm.Untuk 2 kendaraan yang melintas secara bersamaan= 2156,44 kNm

Tabel 10. Rekapitulasi Momen Pada Balok Girder

Beban	Berat Sendiri	Beban Mati	Beban Diafragma	Beban Lajur	Kombinasi Momen		
					Seblm. Komp	Komposit	
	1	2	3	4	5	6	7
	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
MA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M1	753,19	475,44	15,00	3448,91	753,19	1243,64	4692,55
M2	1439,43	908,63	30,01	6591,26	1439,43	2378,06	8969,32
M3	2058,71	1299,55	44,06	9427,03	2058,71	3402,32	12829,35

M4	2611,05	1648,20	58,24	11956,24	2611,05	4317,50	16273,74
M5	3096,44	1954,60	66,97	14178,87	3096,44	5118,01	19296,88
M6	3514,88	2218,74	76,52	16094,94	3514,88	5810,13	21905,07
M7	3866,36	2440,61	86,07	17704,43	3866,36	6393,04	24097,47
M8	4150,90	2620,22	93,02	19007,35	4150,90	6864,15	25871,50
M9	4368,49	2757,57	99,84	20003,71	4368,49	7225,91	27229,61
M10	4519,13	2852,66	105,03	20693,49	4519,13	7476,81	28170,30
M11	4602,81	2905,49	109,12	21076,70	4602,81	7617,42	28694,12
M12	4621,64	2917,38	112,19	21162,93	4621,64	7651,21	28814,13
Σ	39603,02	24999,09	896,08	181345,86	39603,02	65498,19	246844,05

Sumber : Perhitungan

Tabel 11. Rekapitulasi Gaya Lintang yang Terjadi pada Balok Girder

Beban	Berat Sendiri	Beban Mati	Beban Diafragma	Beban Lajur
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
VA	393,33	248,29	7,50	1801,10
V1	359,86	227,16	7,50	1653,65
V2	326,38	206,03	7,50	1506,21
V3	292,91	184,89	6,14	1358,76
V4	259,43	163,76	6,14	1211,31
V5	225,96	142,63	4,77	1063,87
V6	192,48	121,50	4,77	916,42
V7	159,01	100,37	4,77	768,97
V8	125,53	79,24	3,41	621,53
V9	92,06	58,11	3,41	474,08
V10	58,58	36,98	2,05	326,63
V11	25,11	15,85	2,05	179,19
V12	0,00	0,00	0,68	68,60

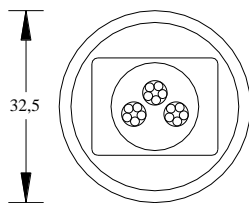
Sumber : Perhitungan

PERHITUNGAN GAYA PRATEGANG DAN JUMLAH TENDON

Perhitungan Gaya Prategang yang Dibutuhkan
 Dari hasil analisa pembebanan, diperoleh :
 Momen akibat beban mati (MG)=65498,19kNm
 Momen akibat beban kombinasi total (MT)=246844,05 kNm
 Gaya Prategang Efektif yang diperlukan untuk penegangan
 $F = MG/0,5 h = 65498,19/0,5 \times 1,7 = 77056,69 \text{ kN}$
 Gaya prategang awal (Fo) adalah (kp = 20% untuk pasca tarik)
 $F_0 = \frac{F}{(100-kp)\%} = \frac{77056,69}{(100-20)\%} = 96320,87 \text{ kN}$. Luas penampang beton prategang yang diperlukan untuk menahan besarnya gaya prategang adalah
 $A_c = 77056,69 / (0,5 \times 45) = 3424,74 \text{ mm}^2 \leq A_c(\text{ada}) = 669500 \text{ mm}^2$

Perhitungan Jumlah Tendon

Jenis Kabel yang digunakan adalah Tendon VSL type ASTM Grade 270.berdasarkan ASTM A416-06 dengan spesifikasi sebagai berikut :
 Diameter strand, d=12,7 mm,Luas nominal 1 strand, $A_{st} = 1/4 \times 3,14 \times d^2 = 126,6 \text{ mm}^2$,Unit tendon=5-15 Jumlah untaian (strand)=15kawat untaian/tendon,Beban nominal 1 strand, $F_{pu} = 2756,00 \text{ kN}$ (100%)=2204,8kN(80%) Luas penampang tendon, $A_t = 126,6127 \times 15 = 1899,19 \text{ mm}^2$,Modulus Elastisitas, $E_c = 195000 \text{ Mpa}$,Beban nominal 1 tendon $F_{pu} = 2204,8 \times 15 = 33072 \text{ kN}$,Beban leleh 10%, $F_{py} = 0,9 \times F_{pu} = 0,9 \times 33072 = 29764,8 \text{ kN}$ Tegangan putus tendon, $f_{pu} = F_{pu} / A_t = 17,41374 \text{ kN/mm}^2 = 17413,74 \text{ Mpa}$



Gambar 14. Strand dalam 1 tendon

Gaya prapenanganan efektif terhadap beban putus diambil 80% dari gaya yang mampu ditahan oleh 1 kabel maka : Jumlah Tendon yang diperlukan adalah

Beban nominal 1 tendon, $F_{pu} =$ Jumlah untaian x Gaya prapenanganan efektif= 15 x 2204,8= 33072 kN. Jumlah tendon : $n = 96320,87 / 33072 = 2,91$ buah ≈ 3 buah. Jumlah strands yang digunakan sebanyak $15 \times 3 = 45$ strand sehingga digunakan 39 strand yang tersebar pada 3 tendon,yang terbagi rata. $F_0 \text{ ada} = n \times$ beban nominal 1 tendon (F_{pu})= 3 x 33072= 99216 kN > $F_0 = 96320,87$ (Aman)

Gaya Prategang Efektif dari Perencanaan, Peff rencana

$P_{\text{eff rencana}} = 0,8 \times F_0 \text{ ada} = 0,8 \times 105737 = 84589,44 \text{ kN}$

Menentukan Daerah Aman Tendon dan Letak Tendon

Menentukan Daerah Aman Tendon

Batas Bawah Tendon

$a_2 = M_0 / F_0 \text{ ada}$

Dimana :

a_2 = Jarak titik berat tendon dibatas bawah kern
 M_0 = Momen akibat berat sendiri balok girder, (kNm)

$F_0 \text{ ada}$ = Gaya prategang awal tendon rencana (kN)= 99216 kN

Contoh perhitungan :

$M_0 \text{ di } x = 0 \text{ m}$

$a_2 = 0,00 / 99216 = 0 \text{ m} = 0 \text{ cm}$

batas bawah = $y_b - k_b - a_2 = 82 - 48 - 0 = 34 \text{ cm}$

Untuk perhitungan selanjutnya ditabelkan :

Tabel 12. Perhitungan Daerah Aman Tendon Batas Bawah

Titik (x) m	Momen kNm	Fo kN	a2 (cm)	batas bawah (cm)
0	0,00	99216	0,00	33,59
2	753,19	99216	0,76	32,83
4	1439,43	99216	1,45	32,14
6	2058,71	99216	2,07	31,51
8	2611,05	99216	2,63	30,96
10	3096,44	99216	3,12	30,47
12	3514,88	99216	3,54	30,05
14	3866,36	99216	3,90	29,69
16	4150,90	99216	4,18	29,41
18	4368,49	99216	4,40	29,19
20	4519,13	99216	4,55	29,03
22	4602,81	99216	4,64	28,95
23,5	4621,64	99216	4,66	28,93

Sumber : Perhitungan

Batas Atas Tendon

$a_1 = MT / P_{\text{eff rencana}}$

Dimana :

a_1 = jarak titik berat tendon di bawah batas kern

MT= Momen kombinasi total, $P_{\text{eff rencana}}$ = gaya prategang efektif = 79372,8 kN

Contoh perhitungan :

MT di $x = 0 \text{ m}$

$a_1 = 0,00 / 79372,8 = 0,0 \text{ cm}$

batas atas = $y_{bc} + k_{ac} - a_1 = 119 + 45 - 0,0 = 163,84 \text{ cm}$

Untuk perhitungan selanjutnya ditabelkan :

Tabel 13. Perhitungan Daerah Aman Tendon Batas Atas

Titik (x) m	Momen kNm	P eff rencana kN	Jarak (Mo/Fo) cm	Batas atas cm
0	0,00	79372,8	0,00	163,84
2	4692,55	79372,8	5,91	157,93
4	8969,32	79372,8	11,30	152,54
6	12829,35	79372,8	16,16	147,68
8	16273,74	79372,8	20,50	143,34
10	19296,88	79372,8	24,31	139,53
12	21905,07	79372,8	27,60	136,24
14	24097,47	79372,8	30,36	133,48
16	25871,50	79372,8	32,59	131,24
18	27229,61	79372,8	34,31	129,53
20	28170,30	79372,8	35,49	128,35
22	28694,12	79372,8	36,15	127,69
23,5	28814,13	79372,8	36,30	127,54

Sumber : Perhitungan

Percanaan Letak Tendon

Beberapa data yang diperlukan dalam menentukan tata letak tendon sebagai berikut :

- Direncanakan jarak tendon terhadap sisi bawah (pada bentang tengah)=350 mm,
- Tebal selimut beton prategang=40 mm
- Diameter selongsong tendon tipe smooth plastic ducts dari VSL=69mm
- Lebar Angkur tipe GC dari VSL=325 mm

Lintasan Tendon

Tendon yang ada, letaknya sedemikian rupa harus berada pada lintasan inti tendon. Penentuan lintasan inti tendon dihitung dengan menggunakan persamaan diatas

Tendon 1

$Y_A = 118,77 \text{ cm}, Y_{12} = 35,00 \text{ cm}$ $f_i = Y_A - Y_{12} = 118,77 - 35 = 83,77 \text{ cm}$

$Y_i = 335,08 \times (4700 - x) / 4700^2$

Untuk x-1 (x= 200 cm)

$Y_{1-1} = 335,08 \times 200 \times (4700 - 200) / 22090000 = 13,652 \text{ cm}$

Y1 tendon diukur dari sisi bawah balok girder, maka :

$Y_1 \text{ Tendon} = 118,8 - 13,65 = 105,1 \text{ cm}$

Perhitungan selanjutnya ditabelkan

Tabel 14. Perhitungan Koordinat Tendon 1

Titik	x (cm)	F (cm)	Y-1 (cm)	Y Tendon (cm)
-------	--------	--------	----------	---------------

A	0	83,77	0	118,77
1	200	83,77	13,65	105,12
2	400	83,77	26,09	92,68
3	600	83,77	37,32	81,45
4	800	83,77	47,33	71,44
5	1000	83,77	56,12	62,65
6	1200	83,77	63,71	55,06
7	1400	83,77	70,08	48,69
8	1600	83,77	75,24	43,53
9	1800	83,77	79,18	39,59
10	2000	83,77	81,91	36,86
11	2200	83,77	83,43	35,34
12	2350	83,77	83,77	35,00

Sumber : Perhitungan

Tendon 2

$Y_A = 88,27 \text{ cm}; Y_{12} = 35,00 \text{ cm}$

$F_1 = Y_A - Y_{12} = 88 - 35 = 53,3 \text{ cm}$

$Y = 213,08 \times (4700 - x) / 4700^2$

Untuk x-1 (x =200 cm)

$Y_{1-1} = 213,08 \times 200 \times (4700 - 200) / 22090000 = 8,68139 \text{ cm}$

Y1 tendon diukur dari sisi bawah balok girder, maka : $Y_1 \text{ Tendon} = 88,3 - 8,68 = 79,6 \text{ cm}$

Perhitungan selanjutnya ditabelkan

Tabel 15. Perhitungan Koordinat Tendon 2

Titik	x (cm)	F (cm)	Y-2 (cm)	Y Tendon (cm)
A	0	53,27	0,00	88,27
1	200	53,27	8,68	79,59
2	400	53,27	16,59	71,68
3	600	53,27	23,73	64,54
4	800	53,27	30,10	58,17
5	1000	53,27	35,69	52,58
6	1200	53,27	40,51	47,76
7	1400	53,27	44,56	43,71
8	1600	53,27	47,84	40,43
9	1800	53,27	50,35	37,92
10	2000	53,27	52,09	36,18
11	2200	53,27	53,05	35,22
12	2350	53,27	53,27	35,00

Sumber : Perhitungan

Tendon 3

$Y_A = 57,77 \text{ cm}$

$Y_{12} = 35,00 \text{ cm}$

$$\begin{aligned}
 F1 &= YA - Y12 \\
 &= 58 - 35 \\
 &= 22,77 \text{ cm} \\
 Y &= \frac{91,08 \times (4700 - x)}{4700^2}
 \end{aligned}$$

Untuk x-1 (x=200 cm)

$$\begin{aligned}
 Y1-1 &= \frac{91,08 \times 200 (4700 - 200)}{22090000} \\
 &= 3,71082 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Y1 tendon diukur dari sisi bawah balok girder, maka :Y1 Tendon= 57,77 - 3,71= 54,06 cm
 Perhitungan selanjutnya ditabelkan:

Tabel 16.Perhitungan Koordinat Tendon 3

Titik	x (cm)	F (cm)	Y-3 (cm)	Y Tendon (cm)
A	0	22,77	0,00	57,77
1	200	22,77	3,71	54,06
2	400	22,77	7,09	50,68
3	600	22,77	10,14	47,63
4	800	22,77	12,86	44,91
5	1000	22,77	15,26	42,51
6	1200	22,77	17,32	40,45
7	1400	22,77	19,05	38,72
8	1600	22,77	20,45	37,32
9	1800	22,77	21,52	36,25
10	2000	22,77	22,26	35,51
11	2200	22,77	22,68	35,09
12	2350	22,77	22,77	35,00

Sumber : Perhitungan

Eksentrisitas Tendon

Eksentrisitas tendon merupakan jarak antara statis momen penampang balok girder terhadap serat bawah (c.g.c) dengan titik berat tendon (c.g.s). Sebagai penjanjian tanda, eksentrisitas tendon bernilai positif apabila c.g.s terletak dibawah c.g.c dan bernilai negatif apabila c.g.s terletak diatas c.g.c. Didapat data dari perencanaan diatas sebagai berikut :Yb= statis momen penampang terhadap serat bawah (c.g.c)

$$Yb=816,5919841 \text{ mm} = 0,816591984 \text{ m}$$

Y tendon = Koordinat titik berat tendon pada bentang tengah (dipakai Y tendon 2 karena merupakan titik berat Tendon (cgs))

Pada titik 12 dengan jarak 23,5 m,didapat eksentrisitas sebesar :

$$e_{12}=Yb - Y_{tendon2}=0,816591984 - 0,350= 0,467$$

m.Untuk perhitungan selanjutnya ditabelkan :

Tabel 17. Perhitungan eksentrisitas tendon

Titik	x (m)	Yb (m)	Y tendon 2 (m)	e	
				(m)	(mm)
A	0	0,93	0,88	0,05	48,34
1	2	0,93	0,80	0,14	135,15
2	4	0,82	0,72	0,10	99,80
3	6	0,82	0,65	0,17	171,18
4	8	0,82	0,58	0,23	234,85
5	10	0,82	0,53	0,29	290,79
6	12	0,82	0,48	0,34	339,02
7	14	0,82	0,44	0,38	379,54
8	16	0,82	0,40	0,41	412,33
9	18	0,82	0,38	0,44	437,41
10	20	0,82	0,36	0,45	454,78
11	22	0,82	0,35	0,46	464,42
12	23,5	0,82	0,35	0,47	466,59

Sumber : Perhitungan

KONTROL KEAMANAN

Kontrol Tegangan Pada Balok Girder Kehilangan gaya prategang secara langsung (Tahap 1)

Pendekatan Elastis Beton (ES)

Tegangan beton pada garis melalui titik berat baja, f_{cir}

$$\begin{aligned}
 f_{cir} &= \frac{F}{A} + \frac{F \cdot e^2}{I_{cx}} - \frac{M_o \cdot e}{I_{cx}} \\
 &= \frac{99216,00}{0,85} + \frac{99216,00 \cdot 0,22}{0,46} - \frac{39603,02 \cdot 0,47}{0,46}
 \end{aligned}$$

$$= 123611,964 \text{ kN/m}^2$$

$$ES = Kes \times n \times f_{cir} = 0,50 \times 6,18 \times 123611,964 = 382261,8949 \text{ kN/m}^2 = 38,23 \text{ kN/cm}^2$$

Luas tendon rencana, At

$$At=n \times A_{st}=45 \times 126,61=5697,56925 \text{ mm}^2=0,006 \text{ m}^2$$

Kehilangan gaya prategang akibat elastis beton, FES
 FES=ESxAs=382261,895x0,006=2177,96362 kN

Akibat Gesekan Sepanjang Kabel Tendon (Fx)

Presentase gaya penarikan diangkur

$$\begin{aligned}
 p &= \frac{F}{n_s \times F_{pu}} \\
 &= \frac{79372,8}{45 \times 2205}
 \end{aligned}$$

=0,8
 Gaya penarikan diangkur, Fj
 $F = p_x n_s x F_{pu} = 80\% \times 45 \times 2205 = 79373 \text{ kN}$

Akibat teknis dilapangan, gaya prategang awal harus dikurangi kehilangan 3% :

$F_o = 97\% \times F_j = 97\% \times 79372,8 = 76991,616 \text{ kN}$

Jadi besar gaya kehilangan 3% penarikan angkur, Ppj

Nilai $K.Lx + \mu.\alpha$
 $K.Lx + \mu.\alpha = \left[\frac{0,002}{0,056} \times 23,5 \right] + \left[0,2 \times 0,04 \right]$

Dikarenakan nilai $K.Lx + \mu.\alpha < 0,3$, maka digunakan rumus F_x sebagai berikut

$F_x = \frac{P_{pj}}{2381} \times \frac{e^{-(K.Lx + \mu.\alpha)}}{2,72^{0,056}}$
 $= \frac{2381}{2381} \times \frac{1}{2,72^{0,056}}$
 $= 2252 \text{ kN}$

Akibat Pengangkuran (Fs)

Nilai λ dan x

$\lambda = \frac{2\mu e}{b^2} + K$
 $= \frac{2 \times 0,2 \times 0,47}{23,5^2} + 0,002$
 $= 0,002$

$x = \sqrt{\frac{E_s \cdot d}{(\lambda + K) \cdot f_x}}$
 $= \sqrt{\frac{195000,00 \times 1}{[0 + 0] \cdot 13930,99}}$
 $= \sqrt{\frac{195000}{60,432052}}$
 $= 56,8 \text{ mm}$

Sehingga gaya kehilangan prategang akibat pengangkuran :

$F_s = 2 \cdot E_s \cdot x \cdot \frac{d}{x}$
 $= 2 \cdot 195000,00 \cdot \frac{1}{56,8}$
 $= 6866 \text{ N}$
 $= 6,86 \text{ kN}$
 $= 6 \text{ kN}$

Kehilangan gaya prategang secara jangka Panjang (Tahap 2)

Akibat Rangkak Beton (Creep of Concrete)

$f_{cds} = \frac{M_{G,e}}{I_{cx}}$
 $= \frac{65498,19 \times 0,47}{0,46}$
 $= 67045,4336 \text{ kN/m}^2$
 $= 67,05 \text{ Mpa}$

$CR = 1,6 \frac{195000,00}{31528,56} [123,61 - 67,05]$
 $= 559,8 \text{ Mpa}$
 $= 55,98 \text{ kN/cm}^2$

kehilangan gaya prategang akibat rangkai beton, Fcr

$\epsilon_{es} = 8,2 \times 10^{-6} \left[1 - 0,06 \frac{V}{S} \right] (100 - RH)$
 $= 8,2 \times 10^{-6} \left[1 - 0,06 \frac{39,937}{11,75} \right] (100 - 75)$
 $= 0,001$

$SH = 0,001 \times 0,58 \times 195000,00 = 74,076208 \text{ N/mm}^2$
 $= 7,407 \text{ kN/cm}^2$

kehilangan gaya prategang akibat susut beton, FSH

$FSH = SH \times A_t$
 $= 7,408 \times 0,570$
 $= 4,221 \text{ kN}$

Akibat Relaksasi Baja (Tendon)

$RE = (K_{re} - J (SH + CR + ES)) \times C$
 $= [3,5 - 0,13 (7,4076 + 55,98 + 38,23)] \times 0,75$
 $= 256,8 \text{ kN/cm}^2$

Kehilangan gaya prategang akibat Reaksi Baja, FRE

$FRE = RE \times A_t = 256,8214544 \times 0,570 = 146,32 \text{ kN}$

Dari perhitungan kehilangan prategang diatas pada beberapa tahap, didapatkan persentase kehilangan gaya prategangan total sebagai berikut :

Tahap 1 = $FES + F_x + F_s$
 $= 2178 + 2252 + 6,866$
 $= 4437 \text{ kN}$

Tahap 2 = $FCR + FSH + FRE$
 $= 31,9 + 4,2205 + 146,3$
 $= 182 \text{ kN}$

$TL = \text{Tahap 1} + \text{Tahap 2} = 4436,8 + 182,4396584 = 4619,30035 \text{ kN}$

$\% TL = (TL / F_o \text{ Rencana}) \times 100 = (4619,30 / 99216) \times 100 = 4,66 \%$
 $\% < 20 \%$ (MEMENUHI)

KONTROL LENDUTAN

Diketahui :

$E_c = 31528,55848 \text{ Mpa} = 31528558,48 \text{ kN/m}^2$
 $P_{eff} \text{ rencana} = 79372800 \text{ N} = 79372,8 \text{ kN}$

$$I_x = 455824181740,64 \text{ mm}^4 = 0,455824 \text{ m}^4$$

$$L = 47\text{m}, e = 466,59 \text{ mm} = 0,47 \text{ m}$$

Lendutan keatas akibat gaya prategang efektif

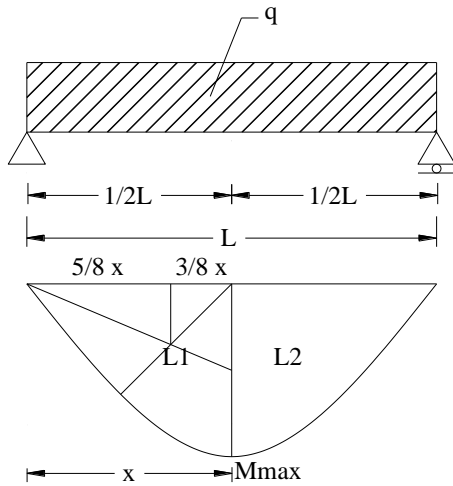
$$\delta F = \frac{P_{\text{eff}}}{48 \times E_c \times I_x} \times L^2$$

$$= \frac{5 \times 79372800}{48 \times 31528,56 \times 455824181740,64} \times 47000^2$$

$$= 1,27 \text{ mm} = 0,13 \text{ cm}$$

Lendutan kebawah akibat beban mati

q=16,74 kN/m; Mmax= 4621,64 kNm



Gambar 15. Momen area beban mati
 Menghitung lendutan akibat berat sendiri dengan luasan momen area :

$$L1 = \frac{2}{3} \times x \times t$$

$$= \frac{2}{3} \times 23,5 \times 4621,64$$

$$= 72405,73 \text{ kNm}^2$$

Reaksi Tumpuan
 RVA = 341664,53 kNm

$$E_c \times I_x \times \delta M_s = R_{VA} \times L - L1 \times \frac{3}{8} \times x$$

$$= 341664,53 \times 23,5 - 72405,73 \times \frac{3}{8} \times 23,5$$

$$= 7391041 \text{ kNm}$$

$$= 7391040913094 \text{ Nmm}$$

$$\delta M_s = \frac{7391040913094}{31528,56 \times 455824181740,64}$$

Lendutan akibat beban hidup

Akibat beban lajur D

$$q = 74 \text{ N/mm}; p = 69 \text{ N/mm}$$

$$\delta TD = \frac{5 \times q \times L^4}{384 \times E_c \times I_x} + \frac{P \times L^3}{48 \times E_c \times I_x}$$

$$= \frac{5 \times 74 \times 47000^4}{384 \times 31528,56 \times 455824181740,64} + \frac{69 \times 47000^3}{48 \times 31528,56 \times 455824181740,64}$$

$$48 \times 31528,56 \times 455824181740,64$$

$$= 0,018 \text{ mm}$$

$$= 0,002 \text{ cm}$$

Lendutan kebawah akibat angin

q=25,18872493 N/mm

$$\delta EW = \frac{5 \times q \times L}{384 \times E_c \times I_x}$$

$$= \frac{5 \times 25,188725 \times 47000^4}{384 \times 31528,558 \times 455824181740,64}$$

$$= 111,36 \text{ mm}$$

$$= 11,14 \text{ cm}$$

Lendutan kebawah akibat rem

MR=718814348,55 kNm

$$\delta TB = 0,0642 \times \frac{MR \times L^2}{E_c \times I_x}$$

$$= 0,0642 \times \frac{718814348,55 \times 47000^2}{31528,56 \times 455824181740,64}$$

$$= 7,093 \text{ mm}$$

$$= 0,709 \text{ cm}$$

Lendutan akibat beban hidup :

$$\delta LL = \delta TD + \delta EW + \delta TB = 0,002 + 11,136 + 0,709 = 11,85 \text{ cm}$$

Maka, didapat lendutan total :

$$\delta_{\text{total}} = \delta F + \delta DL + \delta LL$$

$$= -0,13 + 0,0001 + 11,85$$

$$= 11,720 \text{ cm}$$

Kontrol Lendutan (SNI 7833-2012) :

$$\delta_{\text{total}} < \delta_{\text{izin}}$$

$$\delta_{\text{total}} < L/240$$

$$11,720 < 4700/240$$

$$11,720 < 20 \text{ cm} \text{ Memenuhi}$$

KONTROL GESER

Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton (Vc) (SNI 2847-2012,pasal 11.3.2)

$$V_c = \left(0,05 \lambda \sqrt{f_c} + 4,8 \frac{V_u \times x \times d}{M_u} \right) b_w \times d$$

$$= \left(0,05 \times 1 \times \sqrt{45} + 4,8 \frac{1801100 \times 1560}{21162925} \right) 200 \times 1560$$

$$= 198934946 \text{ N}$$

Dimana V_c tidak perlu diambil kurang dari V_c min, dan tidak boleh diambil lebih besar dari V_c maks (SNI 2847-2013 pasal 11.3.2)

$$V_c \text{ min} = 0,17 \lambda \sqrt{f_c} x \frac{b_w}{x} \frac{d}{x} = 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{45} \cdot \frac{200}{x} \cdot \frac{1560}{x} = 355803,14 \text{ N}$$

$$V_c \text{ max} = 0,42 \lambda \sqrt{f_c} x \frac{b_w}{x} \frac{d}{x} = 0,42 \cdot 1 \cdot \sqrt{45} \cdot \frac{200}{x} \cdot \frac{1560}{x} = 879043,04 \text{ N}$$

V_c yang diambil = Jika $V_c > V_c \text{ max}$; maka diambil $V_c \text{ max}$

jika $V_c < V_c \text{ min}$; maka diambil $V_c \text{ Min}$

Jadi V_c yang diambil adalah $V_c \text{ max}$

Kuat geser nominal beton akibat retak dari fgeser & momen (Vci)

Dibutuhkan data sebagai berikut :

Tegangan tekan beton akibat gaya prategang efektif (fpe)

$$f_{pe} = \frac{F}{A_c} \left[1 + \frac{e \cdot y_b'}{r^2} \right]$$

$$= \frac{77056692,83}{849717,25} \left[1 + \frac{466,59 \cdot x \cdot 1186,13}{702,27^2} \right]$$

$$= 192,45 \text{ Mpa}$$

Tegangan akibat beban mati tak terfaktor (fd)

$$f_d = \frac{M_{max} \cdot x \cdot y_b'}{I_x}$$

$$= \frac{21162925000,00 \cdot x \cdot 1186,13}{455824181740,64}$$

$$= 55,07 \text{ Mpa}$$

Momen retak lentur (Mcre)

$$M_{cre} = \frac{I_x'}{y_b'} \left(\sqrt{f_c} + f_{pe} + f_d \right)$$

$$= \frac{455824181740,64}{1186,13} \left(\sqrt{45} + 192,45 + 55,07 \right)$$

$$= 97698582555,41 \text{ Nmm}$$

$$= 97698582,56 \text{ kNm}$$

Kuat geser nominal beton akibat retak dari geser dan momen (Vci)

$$V_{ci} = 0,05 \lambda \sqrt{f_c} x \frac{b_w}{x} \frac{d}{x} + V_d + V_l \cdot \frac{M_{cre}}{M_{max}}$$

$$= 0,05 \cdot 1 \cdot \sqrt{45} + \frac{200 \cdot x \cdot 1560}{x} + \frac{641618,50}{21162925000,00} \cdot \frac{97698582,56}{21162925000,00}$$

$$= 754581,25 \text{ N}$$

Kuat geser nominal beton retak dari teg. Tarik web/badan (Vcw)

$$V_{cw} = \left[0,29 \lambda \sqrt{f_c} + 0,3 f_{pc} \right] \frac{b_w \cdot d_p}{x} + V_p$$

dan dibutuhkan beberapa data sebagai berikut:
 x =Jarak titik A - daerah kritis = $dp/2 = 1560/2 = 780$ mm = 0,78m

L =Panjang jembatan=47000mm

MG =Momen ultimit beban mati =2917,38kNm

=2917375141,26 Nmm

Tegangan tekan beton pada titik berat penampang penahan (fpc)

$$f_{pc} = \frac{F}{A_c} + \frac{F \cdot e \cdot x \cdot y_b'}{I_c} - \frac{MG \cdot x \cdot y_b'}{I_c}$$

$$= \frac{77056692,83}{849717,25} + \frac{77056692,83 \cdot x \cdot 466,59}{455824181740,64} - \frac{2917375141,26 \cdot x \cdot 1186,13}{455824181740,64}$$

$$\frac{\emptyset}{2} = \frac{8 \cdot x \cdot e}{L}$$

$$= \frac{8 \cdot x \cdot 466,59}{47000}$$

$$= 0,07942 \text{ rad}$$

$$= 4,55^\circ$$

Komponen gaya vertikal gata prategang dipenampang (Vp)

$$V_p = F \sin \theta$$

$$= 77056692,83 \sin 4,55$$

$$= 6113427,78 \text{ N}$$

Sehingga didapat retak geser akibat badan penampang/web (Vcw)

$$V_{cw} = \left[0,29 \cdot 1 \cdot \sqrt{45} + 0,3 \cdot 176,65 \right] \cdot 200 \cdot 1560 + 6113427,78$$

$$= 23255006,95 \text{ N}$$

Dari perhitungan V_c , V_{ci} , dan V_{cw} , dipilih nilai terkecil sehingga didapat nilai $V_c = 754581,25 \text{ N}$

Pengecekan tulangan geser

$$\frac{1}{2} \emptyset V_c = \frac{1}{2} \cdot 0,75 \cdot x \cdot 754581,25$$

$$= 282967,97 \text{ N}$$

$$\emptyset V_c = 0,75 \cdot x \cdot 754581,25$$

$$= 565935,94 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\emptyset} - V_c$$

$$= \frac{1801100,00}{0,75} - 754581,25$$

$$= 1666885,416 \text{ N}$$

Berdasarkan buku Perancangan Struktur Beton Bertulang (Agus Setiawan:2016,104), adapun syarat keperluan penggunaan tul. Geser sebagai berikut :

Jika $V_u > \emptyset V_c$ $1801100 > 565936$, maka pada perencanaan ini dibutuhkan tulangan geser.

PERHITUNGAN PENULANGAN

Perhitungan Tulangan Geser

Gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser :

$$V_u = 1/2 V_c + \emptyset V_s$$

$$= 377291 + 1235164$$

$$= 1612455 \text{ N}$$

Luas Tulangan geser(A_v)

Direncanakan menggunakan 2 kaki D 19

$$A_v = n \cdot x \cdot (1/4n D^2)$$

$$= 2 \times 283,39$$

$$= 567 \text{ mm}^2$$

digunakan diameter (d) = 19 mm

$$s1 = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}$$

$$= \frac{566,77 \times 490 \times 1560}{1646885,42}$$

$$= 263,07 \text{ mm}$$

$$s2 = \frac{d}{4} = \frac{1560}{4}$$

$$= 390 \text{ mm}$$

$$s3 = \frac{A_v \times f_y}{0,35 \times bw}$$

$$= \frac{566,77 \times 490}{0,35 \times 200}$$

$$= 3967,4 \text{ mm}$$

s max dipilih yang terkecil antara S2 dan S3 = 390 mm. jarak antara tulangan geser dipilih antara :
 -jika s1 lebih kecil dari s max, dipilih s1 sebagai jarak antara tulangan sengkang
 -jika s1 lebih besar dari s max, dipilih s max sebagai jarak antara tulangan sengkang
 sehingga, jarak antar tulangan sengkang : 263,06 mm ≈ 250 mm
 jadi dipakai D19 – 250

Perencanaan Penghubung geser (shear connector)

Perhitungan gaya geser horizontal (Vh)
 Cmax plat lantai = Gaya geser yang disumbangkan Plat Lantai = 0,85fcxbexh
 plat = 0,85 x 30 x 1428,86 x 250 = 9109039,981 N
 Cmax PCI = Gaya geser yang disumbangkan oleh balok girder = 0,85fcxA = 0,8545 x 669500 = 25608375 N
 Karena Cmax < Tmax, maka dipakai yang terkecil = 9109039,981 N
 Kuat geser stud connector diambil yang terkecil

$$Q_n = \text{Kekuatan geser 1 stud}$$

$$= 0,5 \times A_s$$

$$= 0,5 \times 283,39$$

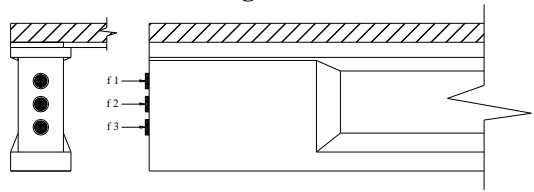
$$= 137803,28 \text{ N}$$

$$A_s \times f_y = 283,385 \times 490$$

$$= 138858,65 \text{ N}$$

Dari perhitungan di atas dipakai nilai yang terbesar maka,
 Q ult = 137803,28 N
 Jumlah stud (n) 1/2 L = Vh / Q ult = 9109039,981 / 137803,28 = 66,102 ≈ 68 buah
 Karena stud dipasang dua baris, maka jumlah stud tiap baris = 34 buah
 Jarak antar stud = L / n - 1 = 23500 / 33 = 712,12 mm ≈ 700 mm
 Jadi sepanjang bentang dipasang shear connector sebanyak 136 buah
 Karena stud dipasang dua baris, maka jumlah stud tiap baris 68 buah

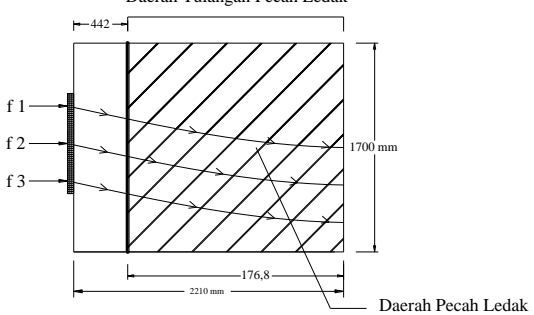
Perencanaan Penulangan End Block



Gambar 16. Rencana Balok Ujung Panjang balok ujung (a) = 1,3 x h balok girder = 1,3 x 1700 = 2210 mm

Perencanaan Tulangan Akibat Momen Pecah Ledak

Tulangan pecah ledak dipasang antara 0,2 a - 1,0 a, dipusatkan pada 0,45 a bila diketahui a adalah daerah blok ujung jadi panjang daerah pecah ledak dapat dihitung :
 0,20 a = 0,2 x 2210 = 442 mm
 a - 0,2 a = 2210 - 442 = 1768 mm = 176,8 cm



Gambar 17. Daerah Pecah Ledak Gaya Tarik Untuk Tiap Tendon (N)

N = 19264173 / 3 = 6421391 N
 Perencanaan tulangan daerah pecah ledak, yang menyebabkan terjadinya pecah ledak bukan gaya tekan, tapi gaya akibat tarik adanya perbedaan tegangan, tegangan tekan yang besar dapat menyebabkan pecah ledak sejauh 0,45 a (jarak maksimum terjadinya momen pecah ledak).

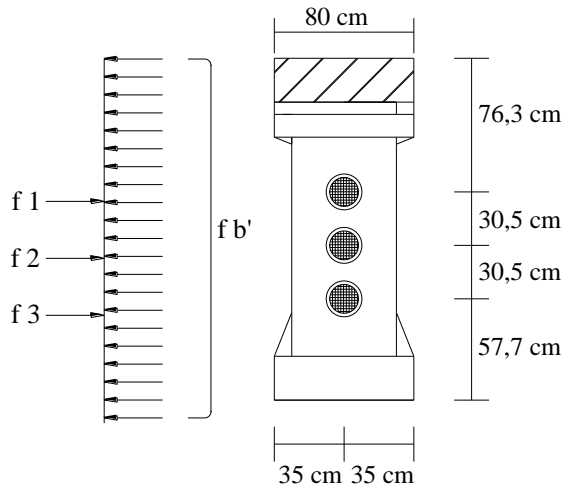
Tegangan tekan pada balok ujung (fb')

$$f_b' = \frac{F_o}{A}$$

$$30 \times 31528$$

$$= \frac{96320866,04}{1178000}$$

$$= 81,766 \text{ N/mm}^2$$



Gambar 18. Diagram Tegangan tekan balok ujung

Gaya desak balokujung
 Pada slab

$$\text{atas (G1)} = f'b \times b \text{ slab}$$

$$= 81,7664 \times 800$$

$$= 65413,2 \text{ N/mm}$$

Pada web

$$(G2) = f'b \times b \text{ web}$$

$$= 81,7664 \times 600$$

$$= 49059,9 \text{ N/mm}$$

Pada slab bawah

$$(G3) = f'b \times b \text{ web}$$

$$= 81,7664 \times 700$$

$$= 57236,5 \text{ N/mm}$$

Gaya desak angker untuk 1 web
 Pada angker

$$(G4) = \frac{F_o}{n \times h \text{ plat angker}}$$

$$= \frac{19264173,21}{3 \times 325}$$

$$= 19758,13 \text{ N/mm}$$

$$\text{Tebal slab atas (h1)} = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal web (h2)} = 1000 \text{ mm}$$

Tebal slab bawah

$$(h3) = 250 \text{ mm}$$

$$\text{tebal plat angkur (h4)} = 3 \times 325$$

$$= 975,00 \text{ mm}$$

Sehingga dapat dihitung momen pecah ledak (MpL)
 dipusat angker adalah

$$MpL = (G1 \cdot (ya-h1/2)) + (G2 \cdot (yb-(h2/2))) + (G3 \cdot (yb-(h3/2))) - (G4 \cdot (h4/2))$$

$$= \left(65413 \times \left(768,96 - \left(\frac{200}{2} \right) \right) \right) + \left(49059,864 \times \left(931,04 - \left(\frac{1000}{2} \right) \right) \right)$$

$$\left(57237 \times \left(931,04 - \left(\frac{250}{2} \right) \right) \right) - \left(19758,13 \times \left(\frac{975,00}{2} \right) \right)$$

$$= 43758788,70 + 21146759 + 46134909 - 9632086,60$$

$$= 101408369,76 \text{ Nmm}$$

$$= 10140836,98 \text{ Ncm}$$

Perhitungan Tulangan Pecah Ledak arah Vertikal

Gaya Tarik pada plat angkur :

$$T = \frac{2,60 \text{ MpL}}{A}$$

$$= \frac{2,60 \times 101408369,8}{1768}$$

$$= 149129,9555 \text{ N}$$

Luas Tulangan yang di perlukan (As Perlu)

$$As = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$= 78,50$$

Jumlah Tulangan

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As. \text{tul}} = \frac{304,35}{78,50} = 3,87 = 4 \text{ buah}$$

Jarak tulangan

$$S = \frac{\text{Panjang daerah pecah ledak}}{n-1}$$

$$= \frac{1768}{3}$$

$$= 589,3 = 550 \text{ mm}$$

Dipasang Tulangan pecah Ledak arah Vertikal D 10 – 550

Perhitungan Tulangan Pecah Ledak arah horizontal

Gaya Tarik pada plat angkur :

$$T = \frac{2,60 \text{ MpL}}{h}$$

$$= \frac{2,60 \times 101408369,76}{1700}$$

$$= 155095,1537 \text{ N}$$

Luas Tulangan yang di perlukan (As Perlu)

$$\begin{aligned} \text{As Perlu} &= \frac{T}{f_y} \\ &= \frac{149129,9555}{490} \\ &= 304,35 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dicoba menggunakan tulangan D10

$$\begin{aligned} \text{As} &= 1/4 \pi D^2 \\ &= 78,50 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As.tul}} \\ &= \frac{304,35}{78,50} \\ &= 3,877029911 = 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Jarak tulangan :

$$\begin{aligned} S &= \frac{\text{Panjang daerah pecah ledak}}{n-1} \\ &= \frac{1700}{3} \\ &= 566,7 = 550 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipasang Tulangan pecah Ledak arah Horizontal D10-550

Perencanaan Tulangan Daerah Angkur (Pecah Gumpal)

Tulangan Arah Vertikal

$$\begin{aligned} f_{bst} &= 0,3 \cdot F_0 \left(1 - \frac{Y_{po}}{Y_0} \right)^{0,58} \\ &= 0,3 \times 19264173,21 \left[1 - \frac{487,50}{850} \right]^{0,58} \\ &= 3525391,06 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan yang diperlukan

$$\text{Asp} = \frac{\text{fbst}}{f_y}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{3525391,058}{490} \\ &= 7194,67563 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As} &= 1/4 \pi D^2 \\ &= 1/4 \pi \times 36^2 \\ &= 1017,36 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D 36

Jumlah tulangan yang di perlukan (n)
 $n = \text{Asp}/\text{As} = 7194,676/1017,36 = 7,07 \text{ Buah} = 8 \text{ bh}$

Jarak tulangan $S = 442,0/7 = 63,14 \text{ mm} = 60 \text{ mm}$

Kontrol : As ada > As perlu

$8138,88 > 7194,68 \text{ (OK)}$

Tulangan arah horizontal

Tarikan memecah tendon

$$\begin{aligned} f_{bst} &= 0,3 \cdot F_0 \left(1 - \frac{Y_{po}}{Y_0} \right)^{0,58} \\ &= 0,3 \times 19264173,21 \left[1 - \frac{487,50}{850,00} \right] \\ &= 3525391,058 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned} \text{Asp} &= \frac{\text{fbst}}{f_y} \\ &= \frac{3525391,058}{490} \\ &= 7194,675628 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D 36

$$\begin{aligned} \text{As} &= 1/4 \pi D^2 \\ &= 1/4 \pi \times 36^2 \\ &= 1017,36 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang di perlukan (n)

$$n = \frac{\text{Asp}}{\text{As}} = \frac{7194,6756}{1017,36}$$

= 7,07 = 8 bh

Jarak tulangan S

$$S = \frac{1700}{7}$$

$$= 243 \text{ mm}$$

$$= 240 \text{ mm}$$

Kontrol :

As ada \geq As perlu

8138,88 \geq 7194,68 OK

Jumlah tendon yang digunakan dalam perencanaan jembatan Langgaliru adalah sebanyak 3 buah dengan spesifikasi tendon sebagai berikut :

Jenis Kabel = Tendon VSL type ASTM Grade 270
 Diameter strand, d=12,7mm

Luas nominal 1 strand, $A_{st}=1/4 \times 3,14 \times d^2=126,6 \text{ mm}^2$

Unit tendon = 5-15

Jumlah untaian (strand)=15 kawat untaian / tendon
 Beban nominal 1 strand, $F_{pu}=2756,00 \text{ kN}$ (100%)
 $=2204,8 \text{ kN}$ (80%)

Luas penampang tendon, $A_t =126,6127 \times 15=1899,19 \text{ mm}^2$

Modulus Elastisitas, $E_c=195000 \text{ Mpa}$

Beban nominal 1 tendon, $F_{pu}=2204,8 \times 15= 33072 \text{ kN}$

Beban leleh 10%, $F_{py}=0,9 \times F_{pu}=0,9 \times 33072=29764,8 \text{ kN}$

Tegangan putus

$$\text{tendon, } f_{pu} = \frac{F_{pu}}{A_t}$$

$$= 17,41374 \text{ kN/mm}^2$$

$$= 17413,74 \text{ Mpa}$$

Diameter selongsong tendon=69 mm Type

selongsong = smooth plastic duct dari VSL

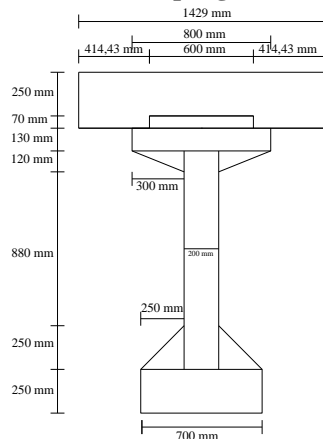
Lebar angkur = 325 mm

Type angkur = Gc dari VSL

KESIMPULAN

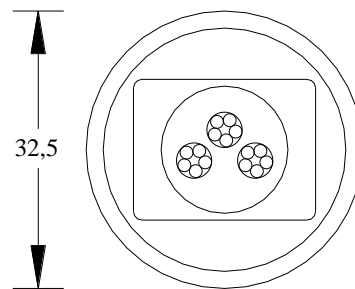
Dari perhitungan perencanaan alternatif struktur atas jembatan Langgaliru, dapat disimpulkan sebagai berikut :

Dimensi Penampang



Gambar 19. Dimensi Penampang

Jumlah dan Koordinat tendon



Gambar 20. Susunan Kawat Strand dalam 1 tendon

Koordinat tendon

Tabel 17. Koordinat tendon 1

Titik	x (cm)	F (cm)	Y-1 (cm)	Y Tendon (cm)
A	0	83,77	0,00	118,77
1	200	83,77	13,65	105,12
2	400	83,77	26,09	92,68
3	600	83,77	37,32	81,45
4	800	83,77	47,33	71,44
5	1000	83,77	56,12	62,65

6	1200	83,77	63,71	55,06
7	1400	83,77	70,08	48,69
8	1600	83,77	75,24	43,53
9	1800	83,77	79,18	39,59
10	2000	83,77	81,91	36,86
11	2200	83,77	83,43	35,34
12	2350	83,77	83,77	35,00

Sumber : Perhitungan

Tabel 18. Koordinat tendon 2

Titik	x (cm)	F (cm)	Y-2 (cm)	Y Tendon (cm)
A	0	53,27	0,00	88,27
1	200	53,27	8,68	79,59
2	400	53,27	16,59	71,68
3	600	53,27	23,73	64,54
4	800	53,27	30,10	58,17
5	1000	53,27	35,69	52,58
6	1200	53,27	40,51	47,76
7	1400	53,27	44,56	43,71
8	1600	53,27	47,84	40,43
9	1800	53,27	50,35	37,92
10	2000	53,27	52,09	36,18
11	2200	53,27	53,05	35,22
12	2350	53,27	53,27	35,00

Sumber : Perhitungan

Tabel 19. Koordinat tendon 3

Titik	x (cm)	F (cm)	Y-3 (cm)	Y Tendon (cm)
A	0	22,77	0,00	57,77
1	200	22,77	3,71	54,06
2	400	22,77	7,09	50,68
3	600	22,77	10,14	47,63
4	800	22,77	12,86	44,91
5	1000	22,77	15,26	42,51
6	1200	22,77	17,32	40,45
7	1400	22,77	19,05	38,72
8	1600	22,77	20,45	37,32
9	1800	22,77	21,52	36,25
10	2000	22,77	22,26	35,51
11	2200	22,77	22,68	35,09
12	2350	22,77	22,77	35,00

Sumber : Perhitungan

Tegangan efektif yang dibutuhkan untuk penegangan sebesar 77056,69 kN
 Dimensi dan jumlah tulangan :
 Tulangan Geser dan Penghubung geser (shear connector)
 - Tulangan Geser yang digunakan adalah D 19 – 250
 - Penghubung Geser yang digunakan adalah D 19 – 700
 dengan jumlah studs sepanjang balok girder 136 buah
 Tulangan End Block
 Tulangan Pecah Ledak arah Vertikal yang digunakan adalah D 10 – 550
 dengan jumlah tulangan pecah ledak arah vertikal 4 buah
 -Tulangan Pecah Ledak arah horizontal yang digunakan adalah D 10 – 550
 dengan jumlah tulangan pecah ledak arah horizontal 4 buah
 -Tulangan Pecah Gumpal arah vertikal yang digunakan adalah D 36 – 60
 dengan jumlah tulangan pecah gumpal arah vertikal 8 buah
 -Tulangan Pecah Gumpal arah horizontal yang digunakan adalah D 36 – 240
 dengan jumlah tulangan pecah gumpal arah vertikal 8 buah