

Desain Jembatan *Cable-Stayed* dengan Sistem *Single Plane* di Jalan Tol Pandaan-Malang

Roro Prasti Hapsari¹, Dionisius Tripriyo Arry Bramantoro², Ninik Catur Endah Yuliaty³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang

Keywords :

Anchorage; Cable-stayed bridge; modified fan pattern; pylon; single plane system

Kata Kunci :

Angkur; Jembatan cable-stayed; modified fan pattern; pylon; single plane system

Article History :

Submitted : 10 Oktober 2022

Accepted : Desember 2022

Available Online : Desember 2022

Korespondensi Penulis :

Roro Prasti Hapsari

Email :

rrohapsari@gmail.com

Abstract

Cable-stayed bridge known as cost-effective, long span, breathtaking bridge. This study aims to design girder, cable, pylon, and anchorage. The bridge is located at Exit Toll Malang on Pandaan-Malang Toll Road. This design is using ultimate design method. The bridge is 155 m long and 20 m width. The main girder is WF 900.300.18.34 installed in the middle. The cross beams are WF 600.300.14.23 installed every 5m. The stringers are WF 400.400.13.21 installed every 1,5 m. The cables are using ASTM A416 Grade 270 with variety number of strands start from 25-50 strands. The selected cable configurations are modified fan pattern and single plane system. The pylon is a single column made from reinforced concrete with dimensions of 2.5m x 2.5m. The anchorage is using VSL SSI 2000. Anchorage at the deck is installed above the main girder with a 50mm steel bracket. Anchorage at the pylon is installed within pylon.

Abstrak

Jembatan *cable-stayed* adalah salah satu tipe jembatan yang sesuai untuk bentang panjang dan mempunyai tampilan yang lebih estetik. Artikel ini menyajikan prosedur dan hasil disain jembatan *cable-stayed* yang meliputi disain gelagar, kabel, pylon, dan ankur. Lokasi jembatan yang dipilih adalah pada bagian ruas Jalan Tol Pandaan-Malang Exit Toll Malang. Bentang jembatan sepanjang 155 m dan lebar 20 m. Metode perencanaan menggunakan prinsip ultimate design.

Berdasarkan perhitungan disain diperoleh dimensi gelagar induk menggunakan WF 900.300.18.34 ; gelagar melintang menggunakan WF 600.300.14.23 yang dipasang pada setiap jarak 5 m; gelagar memanjang menggunakan WF 400.400.13.21 dengan jarak antar gelagar 1,5 m. Kabel menggunakan ASTM A416 Grade 270 dengan variasi strand mulai dari 25-50 strands dengan konfigurasi *modified fan pattern* dan *single plane system*. Pylon direncanakan berupa kolom tunggal beton bertulang berdimensi 2,5 m x 2,5 m. Angkur menggunakan VSL SSI 2000. Angkur pada gelagar dipasang diatas gelagar induk sedangkan ankur pada pylon ditanam menyilang dalam pylon.

DOI :

Sitasi : Hapsari, Roro Prasti. 2022. *Desain Jembatan Cable-Stayed dengan Sistem Single Plane di Jalan Tol Pandaan-Malang. Volume 1 No.2, hal 71-84.*

1. Pendahuluan

Jembatan *cable-stayed* merupakan jembatan bentang panjang berderajat tinggi dengan elemen struktur yang terdiri dari gelagar, kabel, dan pylon. Fungsi kabel adalah untuk menggantikan pilar jembatan dengan prinsip tarikan ke atas, sehingga bentang jembatan yang dapat ditahan lebih panjang.

Kelebihan konstruksi jembatan *cable-stayed* antara lain mempunyai berat struktur yang lebih ringan dengan tampilan yang lebih estetik sehingga sangat cocok digunakan untuk jembatan bentang panjang serta mempunyai tingkat ketangguhan secara struktural yang tinggi (Irawan dkk, 2011).

Sistem *cable-stayed* merupakan suatu sistem ruang, yang terdiri dari balok-balok pengaku (stiffening girder), lantai jembatan dan bagian-bagian pendukung seperti pylon dan kabel-kabel miring yang beraksi pada tegangan tarik.

Karakteristik struktural dari sistem *cable-stayed* adalah bahwa sistem ini secara geometris tidak berubah akibat pembebanan pada jembatan, dan seluruh kabel berada dalam posisi tegang akibat tarikan.

2. Metode Penelitian

Sesuai dengan surat edaran Menteri PUPR No. 08/SE/M/2015, perencanaan jembatan *cable-stayed* di Indonesia harus mengacu pada SNI 1725:2016 yang mengatur tentang Pembebanan Untuk Jembatan, SNI 2833:2008 yang mengatur tentang perencanaan jembatan terhadap beban gempa, RSNI T-03-2005 tentang perencanaan struktur baja untuk jembatan, dan SNI T-12-2004 tentang perencanaan struktur beton untuk jembatan.

Pada artikel ini menyajikan hasil perencanaan jembatan *cable-stayed* pada bagian ruas Jalan Tol Pandaan-Malang Exit Toll Malang. Ruang lingkup perencanaan meliputi Gelagar memanjang, gelagar melintang/diafragma, kabel utama, pylon, dan disain angkur.

Metode perencanaan yang digunakan adalah metode kuantitatif berdasarkan ultimate design. Analisa struktur menggunakan alat bantu software SAP2000. Lokasi jembatan melintasi Sungai Amprong di ruas Jalan Tol Pandaan-Malang. Data mengenai peta lokasi dan topografi lokasi seperti pada Gambar 1.

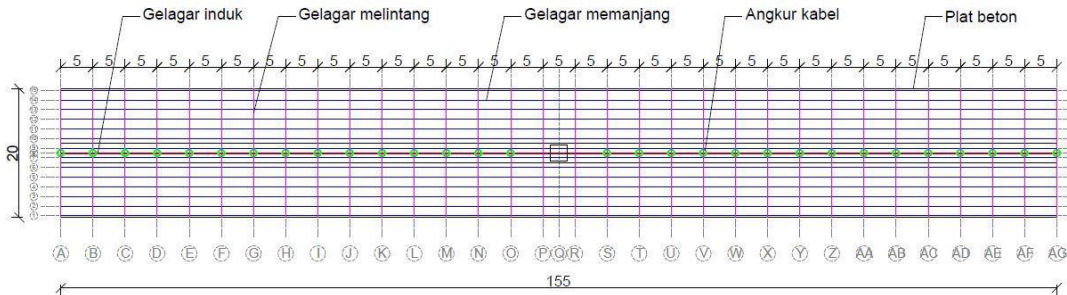


Gambar 1. Peta Lokasi dan Topografi Proyek

Sumber : Google Earth Pro, 2020

Preliminary design kabel

Kabel dipasang dengan konfigurasi modified fan pattern dengan sistem single plan. Jumlah total kabel ada 30 buah dengan 15 kabel pada masing-masing bentang seperti pada Gambar 3.



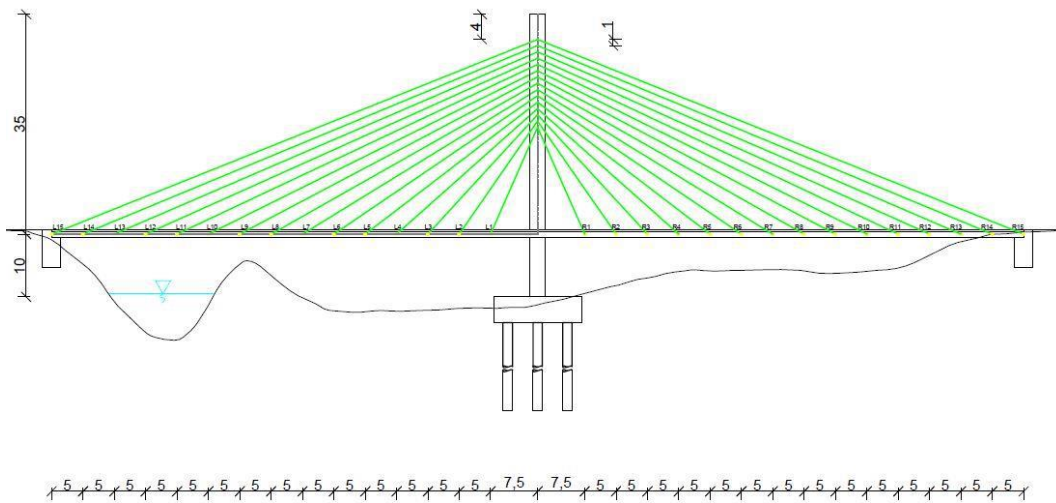
Gambar 3. Tampak atas

Sumber: Hasil perencanaan (Hapsari, 2021)

1. Tinggi pylon

$$H = 0,22L = 0,22 \times 155 = 34,1m \approx 35m$$

Jarak antar kabel pada gelagar adalah 5 m seperti yang terlihat pada Gambar 3. Jarak antar kabel pada pylon adalah 1 meter dan kabel teratas terletak 4 m dibawah puncak pylon seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Tampak memanjang

Sumber: Hasil perencanaan (Hapsari, 2021)

2. Pembebanan

Faktor beban untuk material baja adalah 1,1; untuk beton adalah 1,3; untuk beban mati tambahan (air hujan dan aspal) adalah 1,3.

- Dead Load (DL)

Berat gelagar induk	= 314,60 kg/m
Berat gelagar memanjang	= 2648,80 kg/m
Berat plat beton	= 13260,00 kg/m
Berat aspal	= 3473,02 kg/m

Berat air hujan = 2210,00 kg/m
 Berat gelagar melintang = 3753,75 kg
 $qD = g = 314,60 + 2648,80 + 13260,00 + 3473,02 + 2210,00 = 21906,40$ kg/m
 PD = 3753,75 kg

- Live Load (LL)

BTR = 15300,00 kg/m
 BGT = 116620,00 kg
 T = 29250,00 kg
 $qL = p = 15300,00$ kg/m
 $PL = 116620,00 + 29250,00 = 145870,00$ kg
 $P/30d = (PD + PL) / (30 * d) = (3753,75 + 145870,00) / (30 * 0,912) = 5468,7$ kg/m

3. Dimensi kabel

Perhitungan dimensi kabel dihitung menggunakan rumus dibawah ini. Tiap kabel dihitung satu persatu seperti pada Tabel 1.

$$A_{sc,i} \cong \frac{(g + p + \frac{P}{30d})(\lambda_i + \lambda_{i+1})\cos\phi_i}{2(f_{cbd}\sin\phi_i\cos\phi_i - \gamma_{cb}a_i)}$$

Tabel 1. Dimensi kabel

Kabel	λ_i (m)	ϕ_i (°)	A_{sc} perlu (mm ²)	n (buah)	A_{sc} terpasang (mm ²)
1	7,5	66,19	3489,70	27	3762,45
2	5	55,22	3111,57	25	3483,75
3	5	47,35	3477,49	25	3483,75
4	5	41,63	3853,83	30	4180,50
5	5	37,37	4222,68	32	4459,20
6	5	34,09	4578,35	35	4877,25
7	5	31,52	4915,05	37	5155,95
8	5	29,45	5233,75	40	5574,00
9	5	27,76	5533,10	42	5852,70
10	5	26,35	5815,54	43	5992,05
11	5	25,15	6083,76	45	6270,75
12	5	24,13	6335,44	47	6549,45
13	5	23,25	6572,81	50	6967,50
14	5	22,48	6798,07	50	6967,50
15	5	21,80	3506,21	27	3762,45

Sumber: Hasil perencanaan (Hapsari, 2021)

Preliminary design pylon

Dimensi pylon ditentukan dengan memperhitungkan gaya tekan akibat kabel. Gaya tekan aksial akibat kabel dihitung pada Tabel 2.

$$W = (qD \times \lambda) + (qL \times \lambda) + P = (21906,4 \times 5) + (27540 \times 5) + 149623,8 = 396855,8 \text{ kg}$$

Tabel 2. Gaya aksial pylon akibat kabel

Kabel	Φ_i (°)	$N_{gi} = W \times \sin\Phi_i$ (kg)
1	66,19	3.63E+08
2	55,22	3.26E+08
3	47,35	2.92E+08
4	41,63	2.64E+08
5	37,37	2.41E+08
6	34,09	2.22E+08
7	31,52	2.07E+08
8	29,45	1.95E+08
9	27,76	1.85E+08
10	26,35	1.76E+08
11	25,15	1.69E+08
12	24,13	1.62E+08
13	23,25	1.57E+08
14	22,48	1.52E+08
15	21,80	1.47E+08
Total		3.26E+09

Sumber: Hasil perencanaan (Hapsari, 2021)

$$N_g = 3258134,125 \text{ kg} = 32581341,25 \text{ N}$$

$$A = \frac{2N_g}{f_{c'}} = \frac{2 \times 32581341,25}{50} = 1303253,7 \text{ mm}^2$$

$$A = b \times h = b^2 \text{ (penampang segi empat sama sisi)}$$

$$b = \sqrt{A} = \sqrt{1303253,7} = 1141,6 \text{ mm, dipakai } b = 2500 \text{ mm}$$

$$A = 2500^2 = 6250000 \text{ mm}^2 > 1303253,7 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi persyaratan}$$

Pengecekan kabel

Kapasitas kabel (tarik ijin) dihitung dengan mengalikan tegangan tarik ijin dengan dimensi kabel. Kemudian kapasitas kabel dibandingkan dengan gaya tarik aksial kabel (P_u) yang terjadi. Kapasitas kabel harus lebih besardari gaya aksial yang terjadi. Kapasitas dan gaya aksial tiap kabel dapat dilihat pada Tabel 3.

$$f_{pu} = 1860 \text{ MPa}$$

$$f_{cbd} = 0,45 \times 1860 = 837 \text{ MPa} = 83700000 \text{ kg/m}^2$$

Tabel 3. Kapasitas dan kontrol kabel

Kabel	n (buah)	Asc Terpasang (mm ²)	Tarik ijin (kg) $f_{cbd} \times A$	P_u (kg)	Kontrol
1	27	3762,45	314917,07	235420,84	Kuat
2	25	3483,75	291589,88	266327,18	Kuat
3	25	3483,75	291589,88	281197,98	Kuat
4	30	4180,50	349907,85	335114,86	Kuat
5	32	4459,20	373235,04	354687,22	Kuat
6	35	4877,25	408225,83	386675,03	Kuat
7	37	5155,95	431553,02	408971,50	Kuat
8	40	5574,00	466543,80	443145,60	Kuat
9	42	5852,70	489870,99	468210,15	Kuat
10	43	5992,05	501534,59	482915,54	Kuat
11	45	6270,75	524861,78	50787,86	Kuat
12	47	6549,45	548188,97	528766,48	Kuat
13	50	6967,50	583179,75	558893,52	Kuat
14	50	6967,50	583179,75	552270,30	Kuat
15	27	3762,45	314917,07	291287,29	Kuat

Sumber: Hasil perencanaan (Hapsari, 2021)

Pengecekan gelagar induk

Gelagar induk dicek kekuatannya. Kuat lentur nominal (ϕM_n) harus lebih besar dari gaya momen ultimit analisa struktur (M_u).

$$M_u = 195908,54 \text{ kgm}$$

$$M_y = f_{yx} S = 3161000000 \text{ Nmm}$$

$$M_p = 1,5 M_y = 4741500000 \text{ Nmm} = 4741,5 \text{ kNm}$$

$$M_p = f_{yx} Z = 3544090000 \text{ Nmm} = 3544,09 \text{ kNm}$$

Diambil M_p yang terkecil, $M_p = 3544,09 \text{ kNm}$

Untuk penampang kompak, $M_n = M_p = 3544,09 \text{ kNm}$

$$\phi M_n = 0,9 M_n = 3189,681 \text{ kNm} = 318968,1 \text{ kgm}$$

$\phi M_n = 318968,1 > M_u = 195908,54 \rightarrow$ Memenuhi persyaratan

Pengecekan gelagar memanjang komposit

Gelagar memanjang berupa gelagar komposit karena menyatu dengan plat beton. Kuat lentur nominal (ϕM_n) dan kuat geser nominal (ϕV_n) harus lebih besar dari gaya-gaya analisa struktur (M_u dan V_u).

$$M_u = 41072,31 \text{ kgm} = 410,72 \text{ kNm}$$

$$M_y = f_y \times S = 965700000 \text{ Nmm}$$

$$M_p = 1,5 \times M_y = 1448550000 \text{ Nmm}$$

$$M_p = F_y \times Z = 491550000 \text{ Nmm}$$

Diambil M_p yang terkecil, $M_p = 491550000 \text{ Nmm}$

$$M_n = \frac{5M_p - 0,85M_y}{4} + \frac{0,85M_y - 5M_p}{4} \left(\frac{h_{cp}}{h_y} \right) = 560057626,25 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n = 504051863,6 \text{ Nmm} = 504,051 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 504,051 > M_u = 410,72 \rightarrow \text{Memenuhi persyaratan}$$

$$V_u = 30039,05 \text{ kg} = 300,39 \text{ kN}$$

$$A_w = t_w \times h_w = 4082,00 \text{ mm}^2$$

$$V_n = 0,6 \times f_y \times A_w = 710268 \text{ N}$$

$$\phi V_n = 0,9 \times V_n = 639241,2 \text{ N} = 639,241 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 639,241 > V_u = 300,39 \rightarrow \text{Memenuhi persyaratan}$$

Desain pylon

Pylon berdimensi $b_k = h_k = 2500 \text{ mm}$. Pylon yang ditinjau adalah daerah angkur kabel. Jarak antar angkur adalah 1 m ($L = 1000 \text{ mm}$).

1. Tulangan memanjang

$$d_m = 36 \text{ mm}$$

$$M_u = 400748628,9 \text{ Nmm}$$

$$P_u = 4452762,543 \text{ N}$$

$$d = h_k - d_c - d_b - 0,5d_m = 2366 \text{ mm}$$

$$\rho_{pakai} = 1\%$$

$$A_{s_{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,01 \times 2500 \times 2366 = 62500 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{s_{perlu}}}{\frac{1}{4}\pi d^2} = \frac{62500}{\frac{1}{4}\pi \times 36^2} = 61,40 \text{ buah} \approx 64 \text{ buah dipasang 4 sisi}$$

$$A_{s_{terpasang}} = 65144,1 \text{ mm}^2, \rho_{terpasang} = 1,04\%$$

$$A_{s_{terpasang}} = 65144,1 \text{ mm}^2 > A_{s_{perlu}} = 62500 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{min} = 1\% < \rho_{terpasang} = 1,04\% < \rho_{max} = 8\%$$

$$\phi M_n = 296875000000 \text{ Nmm} > M_u = 400748628,9 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Memenuhi persyaratan}$$

$$\phi P_n = 150235281,7 \text{ Nmm} > M_u = 4452762,543 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Memenuhi persyaratan}$$

2. Tulangan crossties

$$D_b = d_{ct} = 22 \text{ mm}$$

$$n_b = 2 \text{ buah}$$

$$n_{ct} = 16 \text{ buah}$$

$$bc = bk - 2dc - 2db = 2256 \text{ mm}$$

$$hc = hk - 2dc - 2db = 2256 \text{ mm}$$

$$Hx = \frac{1}{3} \times hc = 752 \text{ mm}$$

$$Hy = \frac{1}{3} \times bc = 752m m$$

$$S = 6d_m = 216 mm$$

$$S = \left(\frac{1}{4}\right) \times b_k = 625 mm$$

$$Dipakais = 180 mm$$

$$Sx = 100 + \frac{350 + h_x}{3} = 467,33 mm \sim 150 mm$$

$$Sy = 100 + \frac{350 + h_y}{3} = 467,33 mm \sim 150 mm$$

$$Ash = (n_b \times (1/4) \times \pi \times db^2) + (n_{ct} \times (1/4) \times \pi \times d_{ct}^2) = 6842,39 mm^2$$

$$Ash_{124} = 0,09 \left[\frac{s \times hc \times f'c}{f_{yc}} \right] = 6768,00 mm^2 < 6842,39 mm^2 \rightarrow \text{Memenuhi persyaratan}$$

$$Ash_{123} = 0,3 \left[\frac{s \times hc \times f'c}{f_{yc}} \right] \left[\frac{A_g}{L_{Ach}} - 1 \right] = 5143,00 mm^2 < 6842,39 mm^2 \rightarrow \text{Memenuhi persyaratan}$$

Crossties 16D22-180 dan sengkang 2D22-180.

3. Tulangan sengkang

$$Vu = 9731,330N$$

$$db = dct = 22 mm$$

$$nb = 2 buah$$

$$nct = 16 buah$$

$$Mpr = 1,25 \times \phi Mn = 37109375000 Nmm$$

$$Ve = \frac{M_{pra} + M_{prb}}{Ln} = 37109375N$$

$$Ve_{as} = 9731,3 N$$

$$\text{Diambil yang terkecil, } Ve = 9731,3N$$

$$0,5Ve = 4865,7 < Ve_{as} = 9731,3N$$

$$\frac{Ag \times f'c}{20} = 15625000 > Nu = 4452762,5 N$$

$$\text{Maka, } V_c = 0 N$$

$$Vs = \frac{Ve}{0,75} - V_c = 12975,1 N$$

$$Vs_{min} = \frac{1}{3} \times bk \times d \times \sqrt{f'c} = 13906433,4 N$$

$$Vs_{max} = \frac{2}{3} \times bk \times d \times \sqrt{f'c} = 27812866,7 N$$

$$\text{Dipakai } Vs = 13906433,4 N$$

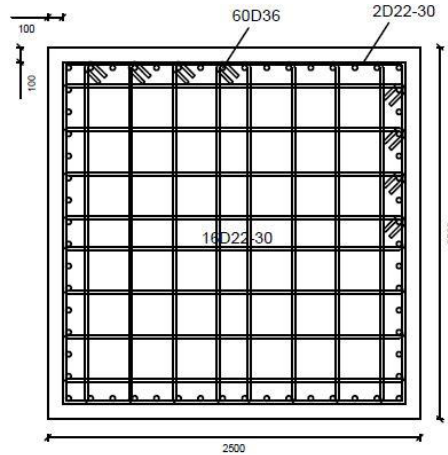
$$Av = nb \times \frac{1}{4} \times \pi \times db^2 = 760,27 mm^2$$

$$S = \frac{Av f_{yd}}{Vs} = 34,84 mm \approx 30 mm$$

Jarak tulangan sengkang dan tulangan crossties yang telah dihitung dibandingkan dan dipilih jarak yang terkecil. Maka:

$$S_{\text{crossties}} = 180 \text{ mm} > s = 30 \text{ mm}$$

Maka dipakai: crossties 16D22-30 dan sengkang 2D22-30 mm.



Gambar 5. Potongan melintang tulangan pylon
 Sumber: Hasil perencanaan (Hapsari, 2021)

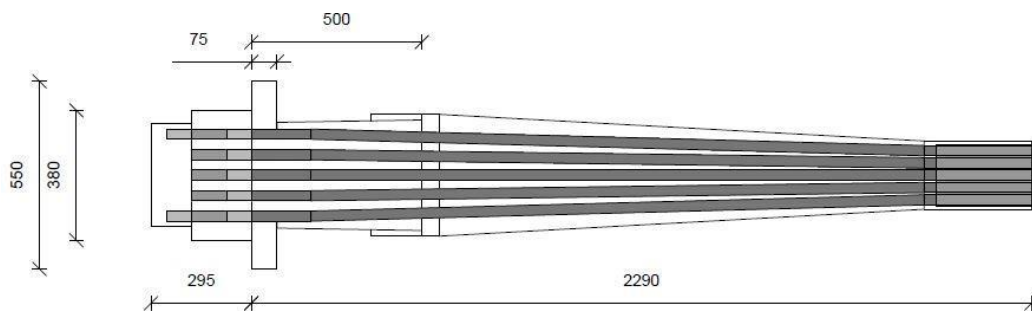
Desain angkur

Angkur menggunakan produk dari VSL SSI 2000 untuk 6-109 tendons. Angkur pada gelagar merupakan fixed anchorage dan angkur pada pylon merupakan adjustable anchorage. Angkur didesain menggunakan gaya aksial ultimit kabel terbesar yaitu $P_u = 558893,52 \text{ kg}$ atau $5588,94 \text{ kN}$.

1. Angkur pada gelagar
- Dimensi angkur

Dimensi angkur VSL SSI 2000 fixed anchorage untuk 6-109 strands adalah sebagai berikut dan seperti yang terlihat pada Gambar 6.

ØA1	=380mm
C1	=550mm
ØD1/thk	=323,9/7,1mm
ØE1	=310mm
ØF1	=337mm
G1	=75mm
LT1	=500mm
H1	=295mm



Gambar 6. Dimensi angkur pada gelagar
 Sumber: Hasil perhitungan (Hapsari, 2021)

- Kapasitas bearing plate

$$Ap' = LT1^2 = 250000 \text{ mm}^2$$

$$Ap = C1^2 - \left(\frac{1}{4}\pi\phi A1^2\right) = 189088,5 \text{ mm}^2$$

$$F_{yp} = 0,8f_y \sqrt{\frac{Ap'}{Ap}} - 0,2 = 178,0 \text{ N/mm}^2$$

$$Ft = P/Ap = 29,56 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{yp} = 178,0 > Ft = 29,56 \rightarrow \text{Memenuhi persyaratan}$$

- Kapasitas plat angkur

Angkur pada gelagar dipasang diatas gelagar induk dengan menggunakan platangkur sebagai penyambungannya seperti pada Gambar 7. Plat angkur menggunakan plat dengan lebar bpc = 250 mm setebal tpc = 50 mm dan plat pengaku dengan lebar bs = 400 mm dengan tebal ts = 20 mm. Satu angkur ditahan oleh 2 plat. Plat angkur dan plat pengaku menggunakan plat baja dengan fy 210 MPa dan fu 340 MPa.

$$Ag = (bpc \times tpc) + (bs \times ts) = 20500 \text{ mm}^2$$

$$\phi Pn = 0,9 \times f_y \times Ag = 3874500 \text{ N}$$

$$Ae = 85\%Ag = 17425 \text{ mm}^2$$

$$\phi Pn = 0,9 \times f_u \times Ae = 4443375 \text{ N}$$

$$\text{Diambil yang terkecil, maka } Pc = 3874500 \text{ N}$$

$$P = \frac{Pu}{2} = 2794467,61 \text{ N}$$

$$Pc = 3874500 > P = 2794467,61 \text{ N} \rightarrow \text{Memenuhi persyaratan}$$

- Kapasitas pipa angkur

Pipa angkur yang digunakan memiliki panjang 1080 mm dengan diameter luar 440 mm, diameter dalam 390 mm, dan tebal pipa 25 mm.

$$Ap = \frac{1}{4}\pi(D_0^2 - D_1^2) = 32594,02 \text{ mm}^2$$

$$I_p = \frac{1}{64}\pi(D_0^4 - (D_0 - 2t)^2) = 704234626,3 \text{ mm}^4$$

$$R = \sqrt{\frac{I_p}{A}} = 146,99 \text{ mm}$$

- Kapasitas pipa

$$kL/r = 4,78$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 145,35$$

$$kL/r = 4,78 < 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 145,35, \text{ non slender}$$

$$f_e = \pi^2 E / (kL/r)^2 = 86543,59 \text{ MPa}$$

$$f_{cr} = 0,685^{f_y/f_e} f_y = 209,81 \text{ MPa}$$

$$P_{c1} = 0,9 \times f_{cr} \times A_p = 6154617,70 \text{ N}$$

- Kapasitas pengaku

$$A_g = n_s \times b_s \times t_s = 40000 \text{ mm}^2$$

$$I_{sy} = \frac{1}{12} b_s t_s^3 = 1333333,33 \text{ mm}^4$$

$$R = \sqrt{\frac{I}{A}} = 11,55 \text{ mm}$$

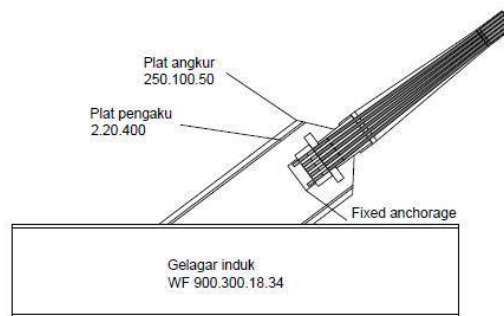
$$f_e = \pi^2 E / (kL/r)^2 = 534,07 \text{ MPa}$$

$$f_{cr} = 0,685^{f_y/f_e} f_y = 180,97 \text{ MPa}$$

$$P_{c2} = 0,9 \times f_{cr} \times A_g = 6514987,89 \text{ N}$$

$$P_c = P_{c1} + P_{c2} = 12669605,59 \text{ N}$$

$$P_c = 12669605,59 > P_u = 5588935,2 \rightarrow \text{Memenuhi persyaratan}$$



Gambar 7. emasangan ankur pada gelagar

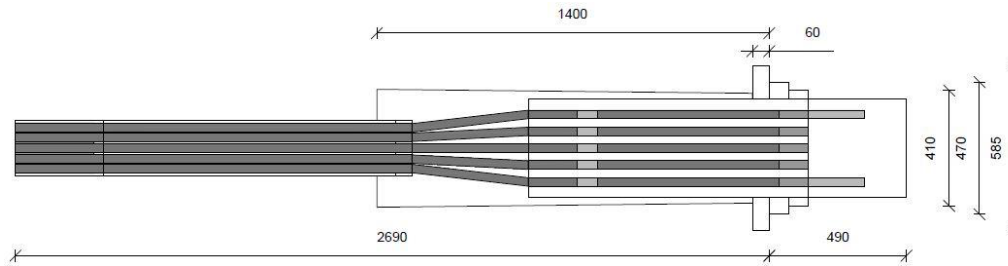
Sumber: Hasil perhitungan (Hapsari, 2021)

2. Angkur pada pylon

- Dimensi ankur

Dimensi ankur VSL SSI 2000 adjustable anchorage untuk 6-109 strands adalah sebagai berikut dan seperti yang terlihat pada Gambar 8. Angkur pylon dipasang tertanam menyilang dalam pylon seperti pada Gambar 9.

ØA2	= 385 mm
C2	= 585 mm
ØD2/thk	= 419/10 mm
ØE2	= 391 mm
G2	= 60 mm
LT2	= 1400 mm
H2	= 490 mm



Gambar 8. Detail angkur pada pylon

Sumber: Hasil perhitungan (Hapsari, 2021)

- Kapasitas bearing plate

$$f_c = 0,85 f_{c'} = 42,5 \text{ MPa}$$

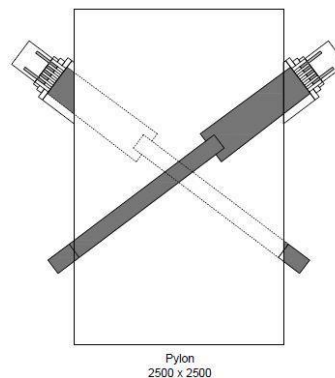
$$A_{p'} = LT^2 = 1960000 \text{ mm}^2$$

$$A_p = C^2 - \left(\frac{1}{4}\pi\phi A^2\right) = 225809,4 \text{ mm}^2$$

$$F_{cp} = 0,8f_y \sqrt{\frac{A_{p'}}{A_p} - 0,2} = 99,01 \text{ N/mm}^2$$

$$F_t = P/A_p = 24,75 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{cp} = 99,01 > F_t = 24,75 \rightarrow \text{Memenuhi persyaratan}$$



Gambar 9. Pemasangan angkur pada pylon

Sumber: Hasil perhitungan (Hapsari, 2021)

4. Simpulan

Dari perhitungan desain jembatan cable-stayed, didapatkan hasil desain gelagar, kabel, pylon, dan angkur. Gelagar memanjang menggunakan WF 400.400.13.21. Gelagar melintang menggunakan 600.300.14.23. Gelagar induk menggunakan WF 900.300.18.34. Kabel dipasang menggunakan konfigurasi modified fan pattern dengan single plane system. Jenis kabel yang dipakai adalah ASTM A416 Grade 270 diameter 0,6 in dengan jumlah strand tiap kabel bervariasi mulai dari 25-50 strands. Pylon berdimensi 2,5 m x 2,5 m dengan tinggi dari gelagar 35 m. Pylon menggunakan tulangan memanjang 64D36, tulangan sengkang 2D22-30, dan tulangan crossties 16D22-30. Angkur menggunakan VSL SSI 2000 untuk 6-109 strands. Angkur pada gelagar dipasang diatas gelagar dengan penyambung plat baja setebal 50 mm, sedangkan angkur pada pylon ditanam menyilang dalam pylon.

5. Daftar Pustaka

- Badan Standardisasi Nasional. 2004. "SNI T-12-2004: Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan". Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2005. "RSNI T-03-2005: Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan". Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2016. "SNI 1725:2016: Pembebanan untuk Jembatan". Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2016. "SNI 2833:2016: Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Irawan, R., Trisanto, L., & Tommy Virlanda, W. N. 2011. Perencanaan Teknis Jembatan Cable-Stayed. Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum.
- Kementerian PUPR. 2015. "Surat Edaran Nomor 08/SE/M/2015: Pedoman Perencanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel. Jakarta: Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.